

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**КАФЕДРА ИНЖЕНЕРНОЙ ЭКОЛОГИИ И ХИМИИ**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАСЧЕТУ И  
ВЫБОРУ СТРУЙНЫХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ ЗАЩИТЫ  
ВОЗДУШНОЙ И ВОДНОЙ СРЕДЫ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЙ  
ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ОТРАСЛЕВАЯ ЭКОЛОГИЯ»  
для студентов всех специальностей дневной и  
заочной формы обучения.**

**Брест 2003**

УДК 504 (476)

Методические рекомендации по расчету и выбору струйных комплексов для очистки воздушной и водной среды от загрязнений предназначены для студентов, изучающих экологические дисциплины, а также для аспирантов, разрабатывающих новые технологии оздоровления воздушной и водной среды.

Составители: П.П. Строкач, профессор, к.т.н;

В.М. Новиков, доцент, к.т.н;

Б.Н. Житенев, доцент, к.т.н;

Н.П. Яловая, доцент

О.Б. Меженная, аспирант БГТУ.

Рецензент: В.М. Босак, зав. сектором новых сельскохозяйственных технологий Отдела проблем Полесья НАН РБ, к.б.н.

## Введение

Атмосферный воздух является одним из основных жизненно важных элементов окружающей среды. Его охрана приобретает особую актуальность в условиях интенсивного роста промышленного производства.

Выбросы загрязняющих веществ в воздушное пространство Республики Беларусь в настоящее время достигают около 2100 тыс.т. в год /1/.

Основными источниками этих выбросов являются: автотранспорт, промышленные предприятия, объекты энергетики, сельское хозяйство и др.

Большое количество загрязняющих веществ выбрасываются в атмосферу на территории Минской области – 533 тыс.т.; Витебской области – 367 тыс. т.; Гомельской области – 340 тыс.т.; Брестской области – 295 тыс.т.

В составе выбросов преобладают: оксид углерода – 59%, диоксид серы – 10%, углеводороды – 17%, оксиды азоты – 9%.

Ежегодно на территории Беларуси в среднем выпадают около 300 тыс.т. серы (и только 43 тыс.т. или 14% - из собственных источников), 114 т. оксида азота (из собственных источников – 7 тыс.т., или 6%) и 82 тыс.т. восстанавливаемого азота (из собственных источников – 63 тыс.т., или 35%).

В последние годы особое внимание обращается на совершенствование оборудования и транспортных средств, улучшение качества сырья и топлива, внедрение высокоэффективных установок для очистки промышленных и других выбросов /2-15/.

Современная технология очистки воздуха, загрязненного промышленными выбросами, располагает рядом совершенных устройств и аппаратов. Используются гравитационные, инерционные и центробежные пылеуловители, конденсирующие и ультразвуковые устройства, разнообразные механические и электрические фильтры, дожигающие горелки и печи, адсорбирующие аппараты, разнообразные нейтрализаторы /16/.

Однако обработка воздуха, загрязненного промышленными выбросами, сложна и дорогостояща.

Оборудование всех предприятий страны очистными устройствами требует больших капиталовложений и разработки проектов применительно к специфике каждого производства.

Для небольших предприятий стоимость очистных сооружений может стать близкой к стоимости выпускаемой продукции или даже превышать ее.

Существующие методы очистки воздуха от промышленных выбросов не всегда обеспечивают возросшие требования к чистоте атмосферного воздуха.

Поэтому проблема очистки воздуха от загрязнений может быть решена применением недорогих, но в то же время совершенных и эффективных струйных комплексов /11-15/. Они позволяют надежно защищать человека

от вредного воздействия пыли, газа, лучистого тепла или, наоборот, локализовать оборудование и аппараты, являющиеся источниками производственных выбросов.

Такой способ защиты и оздоровления воздушного бассейна от промышленных загрязнений требует создания струйных комплексов, которые формируют куполообразные жидкостные завесы с достаточно большим локализуемым объемом.

## **1. Поисковая работа по совершенствованию формы, определению размеров, выявлению влияния *шероховатости* поверхности прочной части, выбору параметров и способов крепления струйных аппаратов, формирующих протяженные куполообразные жидкостные завесы**

### **1.1. Классификация струйных аппаратов**

Обзор и анализ существующих конструкций струйных аппаратов, формирующих куполообразные жидкостные завесы, показывает их возможность использования для оздоровления воздушного бассейна

Внедрение струйных аппаратов для оздоровления воздушного бассейна и универсального использования для технологических целей становится целесообразным, когда созданы струйные комплексы, способные формировать куполообразные жидкостные завесы, локализирующие полезный объем от 50 м<sup>3</sup> до 35 тыс.м<sup>3</sup>.

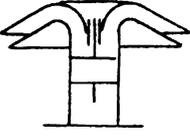
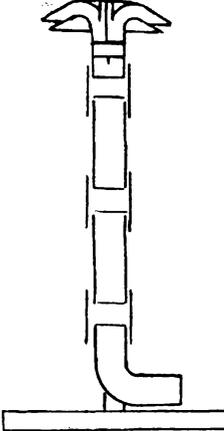
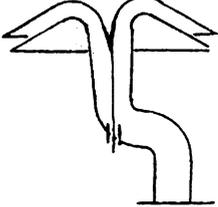
Конструкции струйных аппаратов можно разделить на шесть классов:

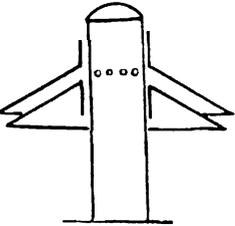
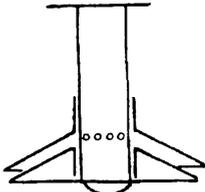
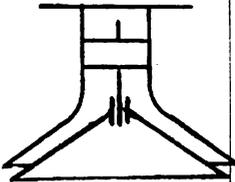
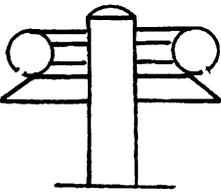
1. Струйные аппараты, формирующие куполообразные жидкостные завесы с локализуемым полезным объемом до 90 м<sup>3</sup>;
2. Струйные аппараты, формирующие куполообразные жидкостные завесы с локализуемым полезным объемом до 300 м<sup>3</sup>;
3. Струйные аппараты, формирующие куполообразные жидкостные завесы с локализуемым полезным объемом до 2 тыс.м<sup>3</sup>;
4. Струйные аппараты, формирующие куполообразные жидкостные завесы с локализуемым полезным объемом до 6 тыс.м<sup>3</sup>;
5. Струйные аппараты, формирующие куполообразные жидкостные завесы с локализуемым полезным объемом до 10 тыс.м<sup>3</sup>;
6. Струйные аппараты, формирующие куполообразные жидкостные завесы с локализуемым объемом до 35 тыс.м<sup>3</sup>;

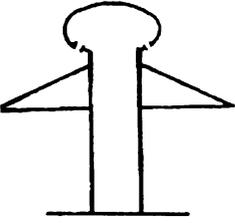
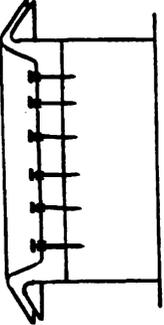
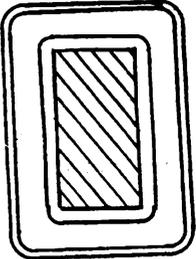
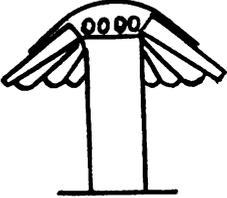
Классификация струйных аппаратов по принципу образования куполообразной жидкостной завесы представлена в табл. 1.1.

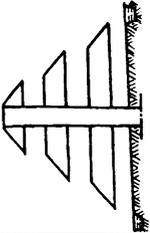
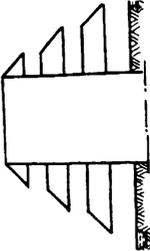
Таблица 1.1.

**Классификация струйных аппаратов по принципу образования куполообразной жидкостной завесы**

Класс струйного аппарата	Наименование основных элементов струйного аппарата и направление подачи воды	Тип струйного аппарата	Схема струйного аппарата
1	2	3	4
1	Струйный аппарат, состоящий из двух конических отбойников, соединительного устройства и подачи воды снизу.	1 А	
1	Струйный аппарат, состоящий из двух конических отбойников, соединительного устройства, разборного стояка, подпятника, пяты и подачи воды снизу.	2А	
1	Струйный аппарат, состоящий из двух конических отбойников, соединительного устройства, двойного отвода и подачи воды снизу.	3 А	

1	Струйный аппарат, состоящий из двух конических отбойников и корпуса, который является соединительным устройством, имеет отверстия на боковой поверхности для подачи воды, и резьбу для соединения деталей и подачи воды снизу.	4 А	
1	Струйный аппарат, состоящий из двух конических отбойников и корпуса, который является соединительным устройством, имеет отверстия на боковой поверхности для подачи воды, резьбу для соединения деталей и подачей воды сверху.	5 А	
1	Струйный аппарат, состоящий из двух конических отбойников, соединительного устройства и подачей воды сверху.	1 Б	
2	Струйный аппарат, состоящий из цилиндрического корпуса, лучевых трубопроводов, кольцевого трубопровода, отбойника и отверстий для подачи на него воды. Подача воды в корпус струйного аппарата снизу.	1 Г	

2	Струйный аппарат, состоящий из крышки, корпуса с отбойником и фланца.	2 Г	
3	Струйный аппарат, состоящий из двух отбойников, каждый из которых составлен из пластин, установленных под углом к вертикальной оси, связанных по торцам двумя половинами конических отбойников, соединительного устройства, плоского стояка и подачи воды снизу.	1 Д	
4	Струйный аппарат, состоящий из двух отбойников, огибающих защищаемый объект и подачи воды снизу.	1 Е	
5	Струйный аппарат состоящий из двух конических отбойников, между которыми установлены эллиптические насадки с боковой прорезью и подачи воды снизу.	1 Ж	

6	Струйный аппарат, состоящий из конических водосливов с круглым ребром, установленных ступенчато и подачи воды снизу.	1 В	
6	Струйный аппарат, состоящий из водосливов с эллиптическим ребром, установленных ступенчато, а также плоского стояка и подачи воды снизу.	2 В	

Верхний и нижний отбойники струйных аппаратов первого, третьего, четвертого и шестого классов при своем сопряжении образуют кольцевой канал, в котором формируется полая струя, переходящая при своем изливе в протяженную куполообразную жидкостную завесу.

Струйные аппараты второго класса (1Г, 2Г) имеют по одному нижнему отбойнику и отверстия, расположенные по периметру кольцевого трубопровода или крышки струйного аппарата.

Струйный аппарат пятого класса типа 1Ж имеет грибовидные отбойники и эллиптические насадки.

Струйные аппараты шестого класса (1В, 2В) имеют конические отбойники (водосливы) с круглым или эллиптическим ребром, установленные ступенчато.

Таким образом, все струйные аппараты, по сходству образования жидкостной завесы, можно объединить в две группы:

- куполообразная жидкостная завеса, образованная путем излива жидкости через кольцевую щель;
- куполообразная жидкостная завеса образована путем обтекания конических водосливов. Такое объединение всех струйных аппаратов в две группы по сходству способа образования куполообразной жидкостной завесы, позволяет значительно сократить объем экспериментальных исследований.

### 1.3. Задачи экспериментального исследования

Обзор и анализ опубликованных исследований по динамике и распаду полых струй жидкости, конструкций струйных аппаратов и комплексов, формирующих куполообразные жидкостные завесы, позволил предложить порядка тринадцати типов новых конструкций струйных аппаратов, которые могут быть использованы для оздоровления воздушного бассейна и технологических нужд.

Целью настоящей работы является исследование возможностей формирования протяженных куполообразных жидкостных завес струйными аппаратами новой конструкции. Изучено совершенствование формы, установление размеров, выявление влияния *шероховатости* поверхности поточной части и способа крепления струйных аппаратов. Для этого предусмотрено проведение следующего комплекса экспериментов:

- выбор угла раскрытия конических отбойников и водосливов;
- установление оптимальной толщины куполообразной жидкостной завесы на выходе из струйного аппарата;
- определение оптимального отношения длины стабилизирующего участка к толщине жидкостной завесы на выходе из струйного аппарата;
- выявление необходимости устройства диффузора, радиусов закругления в нижнем и верхнем отбойниках струйных аппаратов;
- выявление влияния *шероховатости* поверхности проточной части струйных аппаратов на протяженность куполообразной жидкостной завесы;
- изучение влияния способа крепления струйных аппаратов на протяженность куполообразной жидкостной завесы.

### 1.4. Методика исследований

Настоящая методика разработана и изложена в соответствии с задачами экспериментального исследования.

#### 1.4.1. Выбор угла раскрытия конических отбойников и водосливов.

Определение оптимального угла раскрытия конических отбойников и водосливов планируется проводить аналитическим и экспериментальным *методами*.

Для решения поставленной задачи предложена расчетная схема (см. рис. 1), где сделано допущение, что куполообразная жидкостная завеса, при больших скоростях излива, имеет форму конуса (такое допущение приводит к завышению локализуемого объема на 10-15%, что вполне допустимо).

Локализуемый объем воздуха составляет:

$$V = \frac{1}{3} \pi \cdot r_{жз}^2 \cdot H, \quad (1)$$

где:  $V$  – локализуемый объем, м<sup>3</sup>;

$r_{жз}$  – радиус куполообразной жидкостной завесы в нижнем основании, м.

$H$  – высота куполообразной жидкостной завесы, м.

### Расчетная схема

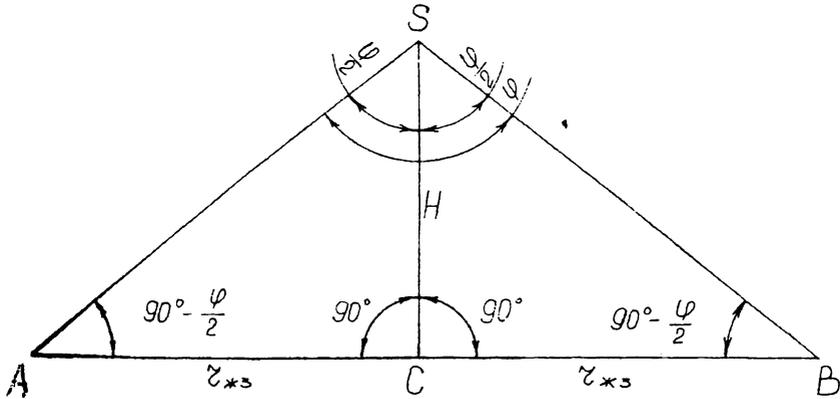


Рис. 1

Из расчетной схемы рис.1. видно, что  $SA = SB = 6$  м (экспериментально было установлено [14], что максимально допустимая протяженность куполообразной жидкостной завесы составляет 5,7 – 6,0 м), тогда

$$H = SA \cdot \cos\left(\frac{\varphi}{2}\right), \quad r_{жз} = SA \cdot \cos\left(90 - \frac{\varphi}{2}\right)$$

Подставляя в формулу (1) следующие значения:  $SA = 6$  м,  $\pi = 3,14$ ;

$$H = 6 \cdot \cos\frac{\varphi}{2}; \quad r_{жз} = 6 \cdot \cos\left(90 - \frac{\varphi}{2}\right), \quad \text{получаем:}$$

$$V = 226 \cdot \cos\frac{\varphi}{2} \cdot \left(\sin\frac{\varphi}{2}\right)^2, \quad (2)$$

где  $\varphi$  – угол раскрытия конических отбойников и водосливов, град.

В процессе аналитического исследования предусматривается построение кривой  $V = f\left(\frac{\varphi}{2}\right)$  путем подстановки в уравнение (2) значения  $\frac{\varphi}{2}$  с интервалом в  $10^\circ$  от  $0$  до  $90^\circ$ .

Экспериментальные исследования по выявлению правильности выбора оптимального угла раскрытия отбойников и водосливов, планируется проводить после установления оптимальной формы и размеров двух групп

струйных аппаратов. Для этой цели предусматривается проведение опытов со струйными аппаратами с отбойниками, имеющими следующие углы раскрытия: 90, 120 и 150°.

Оценку правильности выбора угла раскрытия отбойников планируется проводить по установлению начала смыкания сплошной куполообразной жидкостной завесы, с длиной образующей равной 5,7 м, с горизонтальной поверхностью, при установке струйного аппарата на отметке 3,6 м.

#### 1.4.2. Установление оптимальной толщины куполообразной жидкостной завесы на выходе из струйного аппарата

Установление оптимальной толщины куполообразной жидкостной завесы на выходе из струйного аппарата планируется, как и в первом случае, проводить в два этапа: аналитически и экспериментально.

Оптимальная толщина куполообразной жидкостной завесы может быть рассчитана по следующей зависимости:

$$b_o = K \cdot b_{on} \quad (3)$$

где  $b_{on}$  - оптимальная толщина куполообразной жидкостной завесы на выходе из струйного аппарата, м;

$K = \frac{b_o}{b_k}$  - отношение толщины куполообразной жидкостной завесы на

выходе из струйного аппарата к толщине куполообразной жидкостной завесы при слиянии с горизонтальной поверхностью;

$b_k$  - критическая толщина куполообразной жидкостной завесы, м.

В результате проведения исследований было установлено значение следующих величин: K составляет 18-22 и  $b_k$  лежит в пределах 0,15-0,22 мм.

Подставляя в уравнение (3) средние значения указанных величин, получаем оптимальную толщину куполообразной жидкостной завесы на выходе струйного аппарата, равную 3,5 мм.

Экспериментальным исследованиям предшествует установление геометрических размеров струйного аппарата.

На рис. 2 приведена схема струйного аппарата.

При установлении разме-

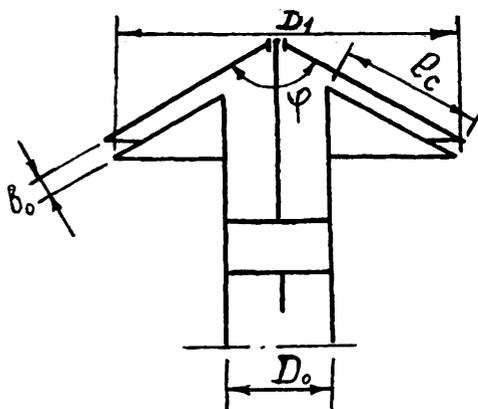


Рис.2

ров струйного аппарата используем известное положение, что отношение длины стабилизирующего участка к высоте щели должно быть более 50 (чем устраняется влияние *входных условий*).

Отношение длины стабилизирующего участка к высоте кольцевого канала часто называют числом калибров.

$$n = \frac{l_c}{b_0} \quad (4)$$

где  $n$  – число калибров;

$l_c$  – длина стабилизирующего участка, м;

$b_0$  – толщина жидкостной завесы (высота кольцевого канала) на выходе из струйного аппарата, м.

Учитывая, что на данном этапе исследований не оптимизированы размеры и форма струйного аппарата, отношение длины стабилизирующего участка к высоте кольцевой щели принимаем 70.

Подставляя в уравнение (4) значение величины  $n$  и  $b_0 = b_{opt}$ , получаем  $l_c$ , равное 245 мм.

В результате графического построения находим диаметр отбойников аппарата, который равен 670 мм.

Правильность выбора диаметра стояка может быть проверена по расходу жидкости:

$$Q = \Pi \cdot D_1 \cdot b_0 \cdot V_0, \quad (5)$$

где  $Q$  – расход жидкости, м<sup>3</sup>/с;

$D_1$  – установленный диаметр отбойников струйного аппарата, м;

$V_0$  – оптимальная скорость излива куполообразной жидкостной завесы (в работе /16/ приводится значение оптимальной скорости, которое лежит в пределах 10-14 м/с), м/с.

Подставляем в уравнение (5) значение величин  $D_1$ ,  $b_0$ ,  $V_0$ , получаем расчетный расход, равный 0,088 м<sup>3</sup>/с.

Используя таблицы Шевелева /17/ определяем предельный экономический расход стальной трубы диаметром 250 мм. Из таблиц Шевелева находим, что при  $\varepsilon = 0,75$  предельный экономический расход для этого сортамента трубы составляет 0,071 м<sup>3</sup>/с при скорости движения воды, равной 1,34 м/с.

Из полученных справочных данных видно, что для достижения расчетного расхода воды ( $Q = 0,088$  м<sup>3</sup>/с) необходимо увеличить скорость соответствующую этому расходу с 1,34 м/с до 1,52 м/с (что вполне допустимо для систем водоснабжения). Таким образом, можно сделать вывод, что диаметр стояка принят правильно.

В процессе экспериментального исследования предусматривается устанавливать поочередно толщины куполообразной жидкостной завесы на выходе из струйного аппарата 1, 2, 3, 4 и 5 мм.

Все опыты следует проводить при постоянной скорости излива куполообразной жидкостной завесы, равной 12 м/с и скорости ветра 2-3 м/с.

По результатам экспериментальных исследований планируется графическое построение  $L = f(b_0)$

### **1.4.3. Определение оптимального отношения длины стабилизирующего участка к толщине жидкостной завесы на выходе из струйного аппарата**

Правильность выбора оптимального отношения длины стабилизирующего участка к толщине жидкостной завесы на выходе из струйного аппарата планируется оценивать по протяженности куполообразной жидкостной завесы.

Экспериментальные исследования предусматривается проводить со струйными аппаратами, выполненными с проточной частью, которая характеризуется следующим числом калибров: 30,40,50,70 и 75.

Струйные аппараты, которые характеризуются приведенным числом калибров, имеют соответствующие диаметры отбойников: 380,490,600,710,820 и 875 мм.

Исследования рекомендуется проводить при скорости излива куполообразной жидкостной завесы на выходе из струйного аппарата, равной 12 м/с, и толщине жидкостного экрана на выходе из струйного аппарата 3,5 мм.

Диаметры водосливов для струйных аппаратов второй группы рекомендуется определять графическим способом с последующей экспериментальной проверкой сплошности куполообразной жидкостной завесы.

Пользуясь рекомендациями (см. табл. 1.4.) и экономическими соображениями экспериментальной проверки на сплошность образования куполообразной жидкостной завесы будут подвергаться струйные комплексы с геометрическими размерами, выполненными по нижнему пределу.

Эксперименты куполообразной жидкостной завесы планируется проводить при скорости ветра не более 2-3 м/с (критическая скорость).

Таблица 1.4.

#### **Основные линейные размеры струйного аппарата**

№ п/п	Наименование конструктивных элементов	Размер
1	2	3
1	Угол раскрытия водослива, град	$\varphi = 120$
2	Минимальное количество ступеней, шт.	$n = 2$
3	Максимальное количество ступеней, шт.	$n = 6$

4	Длина образующей куполообразной жидкостной завесы, м	$L = 4$
5	Высота первого водослива, м	$h_1 = 1,5 \div 2,5$
6	Высота последующих водосливов, м	$h = 2,5$
7	Шаг установки водосливов $n$ высоте, м	$h_w = 2,5$
8	Диаметр первого водослива, м	$D_1 = 6 \div 10$
9	Минимальный диаметр стояка, мм	$D_{0\min} = 400$
10	Максимальная толщина куполообразной жидкостной завесы при смыкании с основанием, мм	$b_{0\min} = 2$

По результатам экспериментальных исследований предусматривается построение зависимости  $L = f(n)$

#### **1.4.4. Устройство диффузора и закругления в нижнем, конуса и закругления в верхнем отбойниках струйных аппаратов.**

Влияние диффузора и закругления в нижнем и конуса и закругления в верхнем отбойниках струйного аппарата предусматривается оценивать по протяженности куполообразной жидкостной завесы.

Исследования планируется проводить в два этапа: а) графическое оформление струйного аппарата; б) экспериментальная проверка необходимости устройства диффузора и закругления в нижнем, конуса и закругления в верхнем отбойниках струйного аппарата.

Для графического оформления струйного аппарата рекомендуется использовать ранее установленные геометрические характеристики:

- оптимальный угол раскрытия отбойников, равный  $120^0$ ;
- оптимальная толщина куполообразной жидкостной завесы на выходе из струйного аппарата, равная 3,5 мм;
- оптимальное отношение длины стабилизирующего участка проточной части струйного аппарата к толщине жидкостной завесы на выходе из струйного аппарата, равное 70.

Практика установления оптимального отношения длины стабилизирующего участка проточной части струйного аппарата к толщине жидкостной завесы на выходе из струйного аппарата указывает на возможность уменьшения диаметра отбойников с 820 мм до 490 мм (при том же числе, характеризующих проточную часть струйного аппарата), путем устройства диффузора и закругления в нижнем, конуса и закругления в верхнем отбойниках. На основании справочных данных /18/ угол раскрытия диффузора рекомендуется выполнять с углом  $\alpha$ , равным  $4-12^0$  (при этих углах раскрытия диффузора имеет место минимальное значение местного сопротивления).

В рассматриваемой конструкции струйного аппарата угол раскрытия диффузора принимаем равным  $8^0$  (среднее значение).

Длину диффузора планируется принять исходя из соображений, что отношение длины стабилизирующего участка к толщине жидкостной завесы на выходе из струйного аппарата должно находиться в пределах 70.

Для проверки правильности выбора принятого отношения длины стабилизирующего участка к толщине жидкостной завесы на выходе из струйного аппарата рекомендуется провести испытания со струйными аппаратами, имеющими следующую переменную длину диффузора: 30,65,100 и 120 мм (что соответствует числу калибров 50, 60,70 и 75).

После установления размеров диффузора нижнего отбойника определяются размеры конуса верхнего отбойника.

Конус в верхнем отбойнике струйного аппарата выполняет роль рассекателя, который начинает формирование полой струи жидкости. При определении формы конуса верхнего отбойника следует пользоваться рекомендациями Кригера /19/. Исходя из этих рекомендаций, рассекатель имеет следующую форму (см. рис. 3)

Из рис. 3 видно, что определяющей величиной при построении рассекателя является диаметр  $D_p$  (где  $D_p$  - диаметр шпильки соединительного устройства, полученной в результате прочностного расчета аппарата, равный  $D_p = 32$  мм.).

Исходя из принятой конфигурации рассекателя и длины диффузора нижнего отбойника полная длина рассекателя будет определяться по формуле:

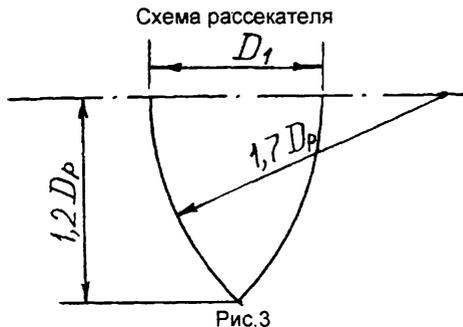
$$L_k = L_{\phi} + L_{cy} + L_{он}, \quad (6)$$

где  $L_k$  - полная длина конуса верхнего отбойника, м;

$L_{\phi}$  - оптимальная длина диффузора, м;

$L_{cy}$  - длина конуса в соединительном устройстве (принимается  $0,5D_o$ , где  $D_o$  - диаметр стояка), м;

$L_{он}$  - длина начального участка конуса верхнего отбойника (принимается  $1,2D_1$ ), м.



Радиусы закругления нижнего и верхнего отбойников струйного аппарата принимаем из конструктивных соображений равными  $R_1 = 30$  мм и  $R_2 = 35$  мм.

После оформления отдельных конструктивных элементов переходим к графическому оформлению струйного

аппарата.

По результатам экспериментальных исследований планируется по-

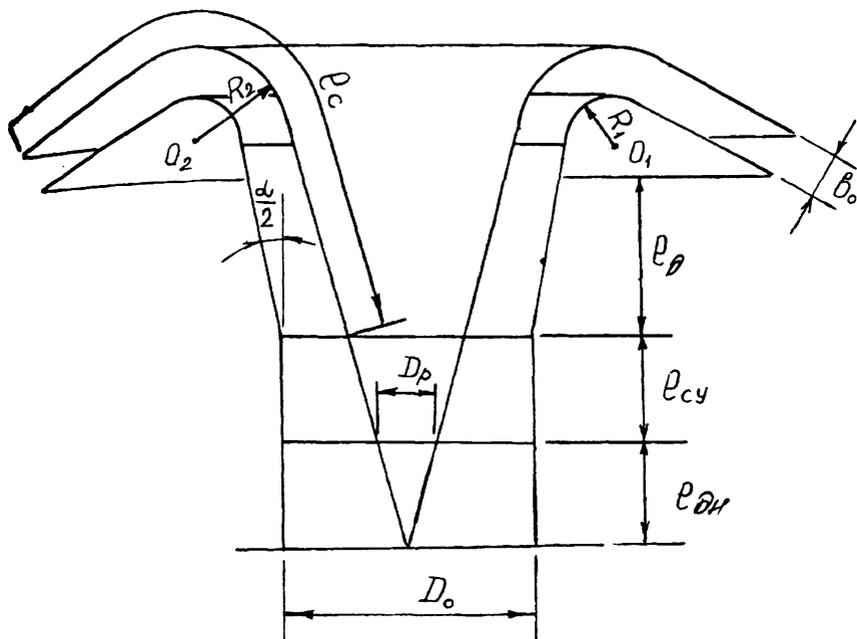


Рис.4 Схема струйного аппарата  
строение кривой  $L = f(V)$  для значений  $n$  равных 50,60,70 и 75 и скоростях  
излива жидкостной завесы 8,10,12,14, и 16 м/с.

#### **1.4.5. Влияние шероховатости поверхности проточной части струйных аппаратов на коэффициент расхода**

Выявление влияния *шероховатости* проточной части на коэффициент расхода жидкости планируется проводить на одном и том же струйном аппарате, меняя *метод обработки*.

На первом этапе проточная часть струйного аппарата обрабатывается резцом с большой подачей и толщиной снимаемого слоя металла, что соответствует *3-му классу шероховатости*.

На втором этапе проточная часть струйного аппарата обрабатывается резцом с малой подачей и толщиной снимаемого слоя металла, что соответствует *5-му классу шероховатости*.

На третьем этапе проточная часть струйного аппарата шлифуется, что соответствует *6-му классу шероховатости*.

После каждого этапа подготовки проточной части струйного аппарата к испытаниям, предусматривается определение шероховатости поверхности микроинтерферометром МИИ-4.

Гидравлические испытания планируется проводить после каждого этапа механической обработки проточной части струйного аппарата.

В качестве испытуемого образца предусмотрено использовать струйный аппарат с отбойниками, диаметром 490 мм. И стояком диаметром 250 мм.

По результатам экспериментальной проверки выполняется графическое построение зависимости коэффициента расхода струйного аппарата от числа Рейнольдса в диапазоне от  $1,7 \cdot 10^5$  до  $5 \cdot 10^5$ .

#### **1.4.6 Изучение влияния способа крепления струйных аппаратов на протяженность куполообразной жидкостной завесы**

Эффективность способа крепления струйных аппаратов к стояку гидросистемы, планируется оценивать по протяженности куполообразной жидкостной завесы.

Изучается влияние следующих способов крепления струйных аппаратов на протяженность куполообразной жидкостной завесы:

- 1) струйный аппарат установлен на фланце с бумажной прокладкой и креплением болтовыми соединениями;
- 2) струйный аппарат установлен на фланце с резиновыми прокладками и втулками, вставленными в отверстия фланца.
- 3) струйный аппарат установлен на фланце с резиновыми прокладками и втулками, вставленными в отверстия фланца и креплением болтовыми соединениями, у которых в качестве шайб под болты и гайки установлены свинцовые прокладки;
- 4) струйный аппарат соединен со стояками с помощью резинового рукава с хомутами.

Исследование рекомендуется проводить на струйном аппарате с диаметром 490 мм и диаметром стояка 250 мм при скорости излива воды 12 м/с на экспериментальной установке первого типа.

По результатам экспериментального исследования планируется оформление таблицы, в которой приводится зависимость протяженности куполообразной жидкостной завесы от способа крепления струйного аппарата к стояку гидросистемы струйного комплекса.

#### **1.4.7. Описание экспериментальных установок**

Объединение струйных аппаратов в две группы по сходству основных конструктивных элементов, а, следовательно, значит и по сходству формирования куполообразной жидкостной завесы, позволяет значительно сокра-

тить объем экспериментальных исследований. Это позволяет провести испытания двух принципиально отличающихся групп струйных аппаратов на сплошность образования протяженной куполообразной жидкостной завесы. Ниже приводится описание двух конструкций экспериментальных установок.

Экспериментальная установка первого типа представляет собой струйный комплекс, включающий струйный аппарат 13, соединенный на фланце с разборным стояком 14, который выполнен как одно целое с гидравлическим стабилизатором 7 и трубопроводом 5, на котором установлена запорно-регулирующая арматура 2 и 6, обеспечивающая регулирование расхода воды. Между трубопроводом 5 и приемным резервуаром установлен насос 3 с приводом от электродвигателя 4.

По периметру струйного комплекса устроен обводнительный канал 19, который обеспечивает стекание воды в приемный резервуар 1.

Вода из приемного резервуара 1 по трубопроводу 5 насосом 3 подается в гидравлический стабилизатор 7, в котором происходит частичное гаше-

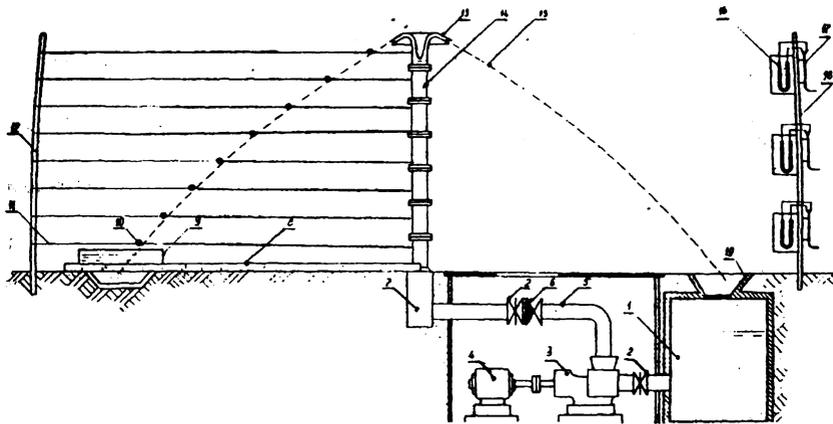


Рис.5

1 – приемный резервуар, 2 – задвижка, 3 – насос, 4 – электродвигатель, 5 - трубопровод, 6 – обратный клапан, 7 – гидравлический стабилизатор, 8 – мерная линейка, 9 – мерный бак, 10 – резиновый шар, 11 – струна, 12,18 – стойка, 13 – струйный аппарат, 14 – разборный стояк, 15 – куполообразная жидкостная завеса, 16 - U - образный манометр, 17 – напорная трубка, 19 – обводнительный канал.

ние пульсаций давления, создаваемого насосом 3. Из гидравлического стабилизатора 7 вода по разборному стояку 14 под необходимым напором подается к струйному аппарату 13. Здесь формируется полная струя воды, переходящая при изливе в куполообразную жидкостную завесу. Она локализует значительный полезный объем воздуха и смыкается с поверхностью

воды обводнительного канала 19. Вода, накапливающаяся в обводнительном канале 19, перетекает в приемный резервуар 1.

Экспериментальная установка оснащена следующей измерительной аппаратурой: координатником для определения траектории излива куполообразной жидкостной завесы, включающем в себя стойку 12, струны 11, натянутые по всей высоте стояка 15, и резиновые шары 10; мерной линейкой 8 для определения геометрических размеров куполообразной жидкостной завесы 15; мерным баком 9 и секундомером для определения расхода жидкости объемным способом; напорными трубками 17 и U - образным манометром 16 для определения скорости ветра; фотоаппаратурой для фотографирования процесса излива куполообразной жидкостной завесы 15; термометрами для определения температуры воды и окружающего воздуха; барометром для определения атмосферного давления; набором щупов для установления зазора между отбойниками струйного аппарата.

Экспериментальная установка второго типа представлена на рис.6.

Экспериментальная установка второго типа представляет собой струйный комплекс, составленный из двух конических водосливов 13 и 14,

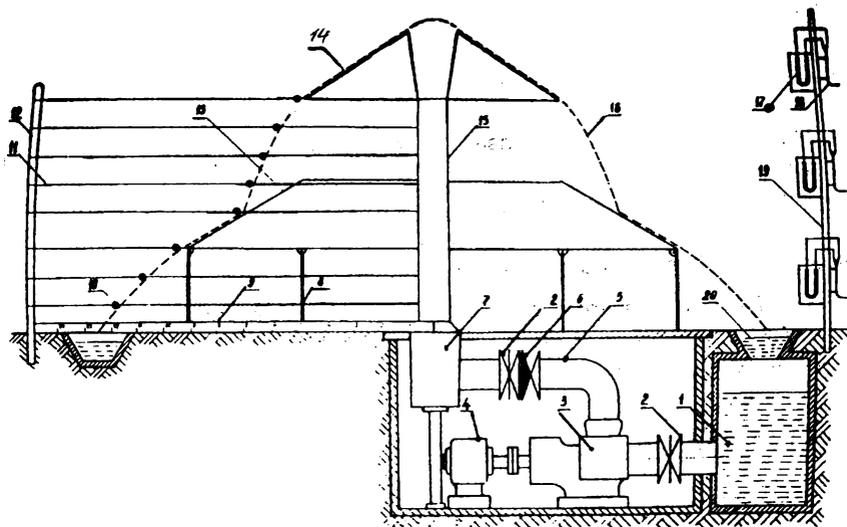


Рис. 6

1 – приемный резервуар, 2 – задвижка, 3 – насос, 4 – электродвигатель, 5 – трубопровод, 6 – обратный клапан, 7 – гидравлический стабилизатор, 8, 12, 19 – стойка, 9 – мерная линейка, 10 – резиновый шар, 11 – струна, 13 – нижний водослив, 14 – верхний водослив, 15 – стояк, 16 – куполообразная жидкостная завеса, 17 – U-образный манометр, 18 – напорная трубка, 20 – обводнительный канал.

установленный ступенчато.

Первый водослив 14 выполнен за одно целое со стояком 15 и гидравлическим стабилизатором 7, который трубопроводом 5 соединен с насосом 3 и приемным резервуаром 1.

Второй водослив 13 установлен симметрично по отношению к стояку 15 и поддерживается стойками 8 по всему периметру.

Вода в установке из приемного резервуара 1 по трубопроводу 5 насосом 3 подается в гидравлический стабилизатор 7, в котором происходит частичное гашение пульсаций давления, создаваемых насосом 3. Из гидравлического стабилизатора 7 вода под напором, создаваемым насосом 3, подается на первый водослив 14.

На нем формируется полая струя жидкости, которая при изливе переходит в куполообразную жидкостную завесу 16, смыкающуюся с поверхностью второго водослива 13.

На водосливе 13 снова формируется полая струя жидкости, которая при изливе переходит в куполообразную жидкостную завесу 16, смыкающуюся с поверхностью воды в обводнительном канале 20.

В результате этого формируется сплошная куполообразная жидкостная завеса значительных размеров.

Струйные комплексы такого типа позволяют формировать многоступенчатые куполообразные жидкостные завесы.

Для доказательства возможностей формирования многоступенчатых куполообразных жидкостных завес достаточно изучения динамики и распада куполообразной жидкостной завесы, сформированной струйным комплексом, составленным из двух ступеней водосливов с круглым ребром.

Экспериментальная установка второго типа оснащена измерительной техникой как и установка первого типа.

### **1.5. Методы и результаты обработки экспериментальных данных**

На экспериментальных установках (рис.5 и рис.6) согласно методике, изложенной в параграфе 1.4, выполнен комплекс исследований, который представлен ниже.

#### **1.5.1 Выбор угла раскрытия конических отбойников и водосливов.**

На основании аналитического исследования выбора угла раскрытия конических отбойников и водосливов получена зависимость  $V = f\left(\frac{a}{2}\right)$ , которая представлена на рис. 7

На рис.7 видно, что максимальный локализуемый объем составляем  $86 \text{ м}^3$  (см. точку А), имеет место при угле раскрытия конических отбойников и водосливов, равном  $110^\circ$ .

Выполнены исследования на струйных аппаратах с отбойниками и углами раскрытия  $90$ ,  $120$  и  $150^\circ$ .

Ниже приводятся некоторые результаты экспериментальных исследований. При угле раскрытия отбойников, равном  $90^\circ$ , локализуемый объем составляет  $28 \text{ м}^3$  при угле раскрытия отбойников,  $120^\circ$  -  $86 \text{ м}^3$ , при угле раскрытия, равном  $150^\circ$  разрыв куполообразной жидкостной завесы наступает на высоте  $1,5 \text{ м}$  от горизонтальной плоскости. При этом радиус жидкостной завесы в этом сечении составляет  $5,46 \text{ м}$  (если на этой отметке сделать предусмотренный разрыв, то объем локализованной сплошной куполообраз-

Зависимость локализуемого объема воздуха от половины угла раскрытия куполообразной жидкостной завесы

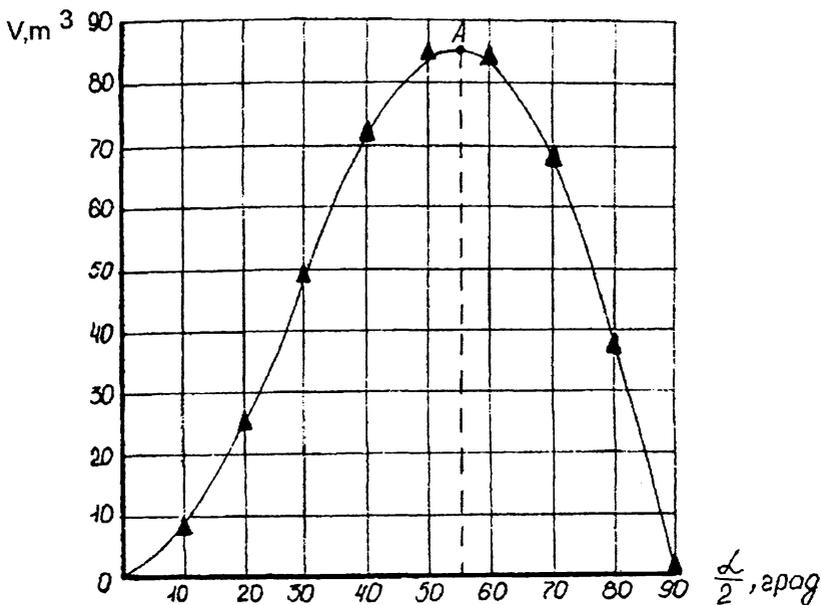


Рис.7

разной завесой составит  $54 \text{ м}^3$ ).

Сопоставляя результаты аналитических и экспериментальных исследований можно сделать вывод, что оптимальным углом раскрытия конических отбойников и водосливов является угол  $120^\circ$ .

### 1.5.2 Установление оптимальной толщины куполообразной жидкостной завесы на выходе из струйного аппарата

Получена зависимость протяженности куполообразной жидкостной за-

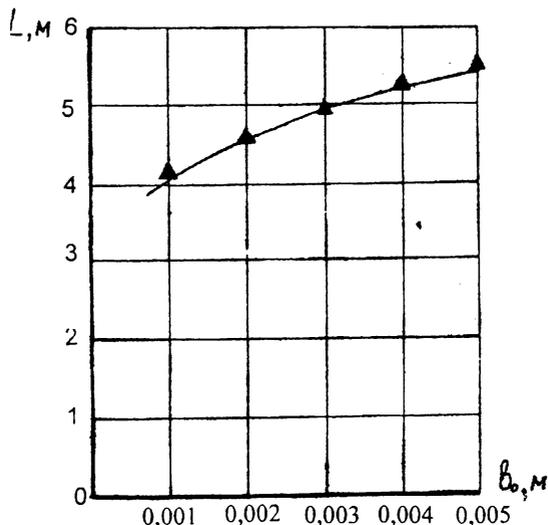


Рис. 8.

весы от толщины последней на выходе из струйного аппарата.

На рис.8 представлена зависимость  $L = f(b_0)$  протяженности куполообразной жидкостной завесы от ее толщины на выходе из струйного аппарата (при  $V_2 = 3 \text{ м/с}$ ,  $n = 70$ ,  $V_1 = 12 \text{ м/с}$ ).

Из графика  $L = f(b_0)$  (рис.8) видно, что протяженность куполообразной жидкостной завесы, изменяется от 4,2 до 5,3 м при изменении толщины жидкостной завесы, на выходе из струйного аппарата от 0,001 м до 0,005 м.

Несмотря на увеличение протяженности куполообразной жидкостной завесы за пределами оптимального значения толщины жидкостного экрана (точка А), рекомендовать струйные комплексы при этом режиме не целесообразно, так как система водоснабжения будет работать неэкономично. Кроме того, увеличение толщины жидкостного экрана для данного типа струйных аппаратов (с двумя отбойниками) не отвечает защитным целям и технологическим нуждам.

### 1.5.3 Определение оптимального отношения длины стабилизирующего участка к толщине жидкостной завесы

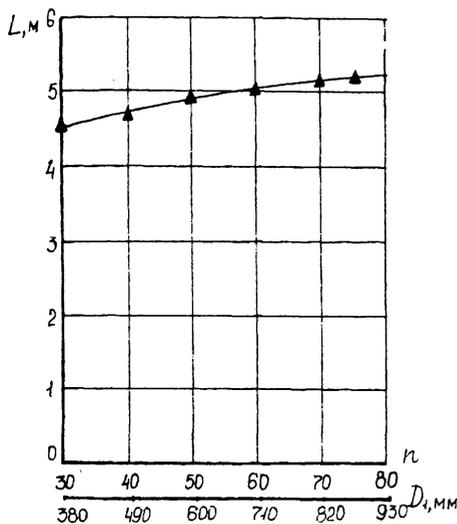


Рис. 9.

Из графика видно, что протяженность куполообразной жидкостной завесы изменяется от 4,6 до 5,2 м при изменении отношения длины стабилизирующего участка к толщине жидкостной завесы на выходе из струйного аппарата (числа калибров от 30 до 75).

Протяженность куполообразной жидкостной завесы при числе калибров струйного аппарата 70 практически не изменяется.

Изучалась также возможность формирования ступенчатой жидкостной завесы.

Зависимость протяженности куполообразной жидкостной завесы от отношения длины стабилизирующего участка к толщине жидкостной завесы на выходе из струйного аппарата (при  $B_0 = 0,0035 \text{ м}$ ,  $V_1 = 12 \text{ м/с}$ ,  $V_2 = 3 \text{ м/с}$ ).

Установлено, что при подаче воды на струйный комплекс, составленный из двух водосливов с круглым ребром и расходом  $0,184 \text{ м}^3/\text{с}$ , образуется сплошная куполообразная жидкостная завеса с высотой 9 м и диаметром в нижнем основании 20 м.

### 1.5.4. Устройство диффузора и закругления в нижнем, конуса и закругления в верхнем отбойниках струйных аппаратов.

Получена зависимость протяженности куполообразной жидкостной завесы от скорости излива последней при устройстве диффузора и закругления в нижнем, конуса и закругления в верхнем отбойниках при разных числах калибров, характеризующих проточную часть струйного аппарата.

Зависимость

протяженности куполообразной жидкостной завесы от отношения длины стабилизирующего участка к толщине жидкостной завесы.

Получена зависимость протяженности куполообразной жидкостной завесы от отношения длины стабилизирующего участка к толщине жидкостной завесы на выходе из струйного аппарата.

На рис.9 приведена зависимость  $L = f(n)$ .

Из графика  $L = f(n)$  (рис.9) видно, что протяженность куполообразной жидкостной завесы изменяется от 4,6 до 5,2 м при изменении отношения длины

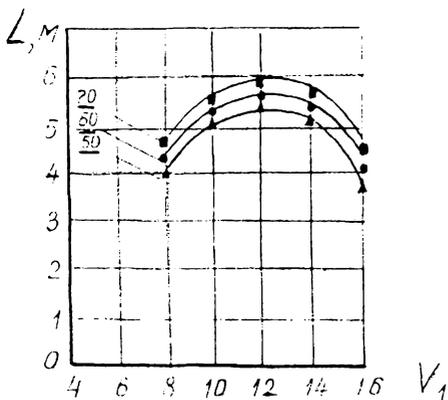


Рис. 10

На рис. 10 представлена зависимость  $L = f(V_1)$  при различных значениях  $n$ .

Зависимость протяженности куполообразной жидкостной завесы при устройстве диффузора и закругления в нижнем, конуса и закругления в верхнем отбойниках струйного аппарата от скорости излива жидкостной завесы при разных значениях (при  $V_2 = 3 \text{ м/с}$ ,  $B_0 = 0.0035 \text{ м}$ ).

Из графика  $L = f(V_1)$  видно, что при  $n=75$  и  $n=70$  протяженность куполообразной жидкостной завесы изменяется от 4,3 м при  $V_1 = 8 \text{ м/с}$  до 4,2 м при  $V_1 = 16 \text{ м/с}$ ; при  $n=60$  протяженность куполообразной жидкостной завесы изменяется от 4,2 при 8 м/с до 4 м при 16 м/с; при  $n=50$  протяженность куполообразной жидкостной завесы изменяется от 4 при  $V_1 = 8 \text{ м/с}$  до 3,9 м при 16 м/с.

Из графика также видно, что протяженность куполообразной жидкостной завесы при  $n=70$  и устройстве диффузора и закругления в нижнем, конуса и закругления в верхнем отбойниках струйного аппарата при 12 м/с достигает максимального значения, равного 5,7 м.

### 1.5.5. Влияние шероховатости проточной части струйных аппаратов на коэффициент расхода.

В результате механической обработки определялась шероховатость поверхности проточной части струйного аппарата с помощью микроинтерферометра МИИ-1.

Установлено, что после обработки отбойников резцом с большой подачей и толщиной снимаемого слоя поверхности имела место шероховатость, соответствующая 3-му классу *шероховатости*, согласно нормативным документам.

После механической обработки отбойников резцом с малой подачей и толщиной снимаемого слоя металла на поверхности имела место шероховатость, соответствующая 6-му классу *шероховатости*.

На третьем этапе обработки отбойников шлифованием на поверхности имела место шероховатость, соответствующая 6-му классу *шероховатости*.

Профилограмма проточной части струйного аппарата

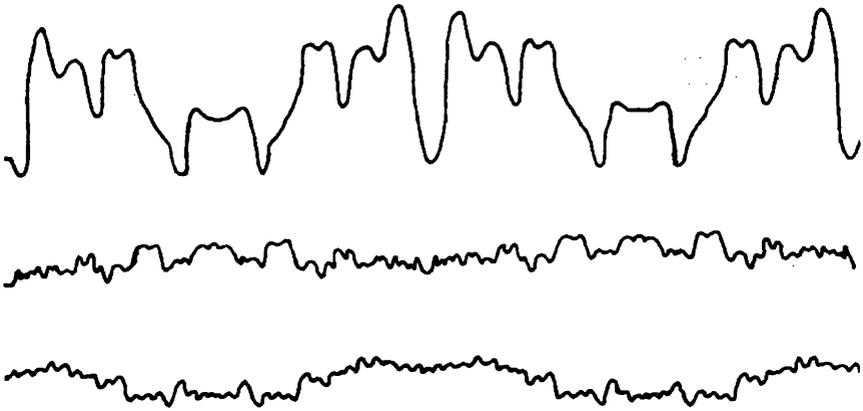


Рис.11

На рис. 11 приведены профилограммы проточной части струйного аппарата после трех этапов механической обработки.

После каждого этапа механической обработки проточной части определяется коэффициент расхода струйного аппарата при переменном числе Рейнольдса.

На рис. 12 представлена зависимость коэффициента расхода *струйного* аппарата от числа Рейнольдса.

Зависимость коэффициента расхода струйного аппарата

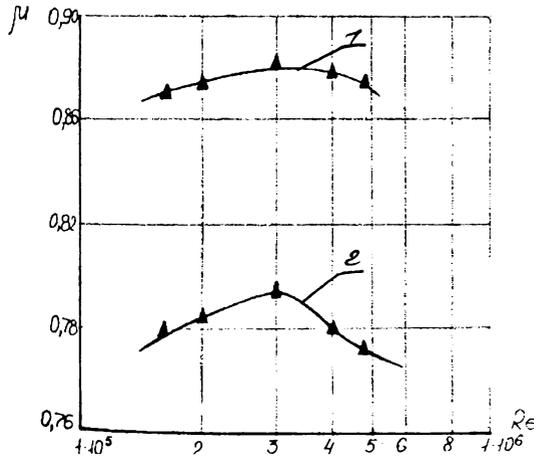


Рис.12

Из графика  $\mu = f(Re)$  (рис.12) видно, что коэффициент расхода струйного аппарата при числе Рейнольдса  $4,7 \cdot 10^5$  (что соответствует оптимальной скорости излива жидкости из струйного аппарата) для проточной части с *шероховатостью* по 6-му классу составляет 0,87, а с *шероховатостью* по 3-му и 5-му классам - 0,77.

Таким образом, коэффициент расхода

струйного аппарата увеличивается с 0,77 до 0,87 при повышении класса шероховатости проточной части с 3-го по 6-ой класс, что составляет 11%.

### **1.5.6. Изучение влияния способа крепления струйных аппаратов на протяженность куполообразной жидкостной завесы**

Экспериментальные исследования по изучению влияния способа крепления струйного аппарата к стояку гидросистемы струйного комплекса на протяженность куполообразной жидкостной завесы представлены в таблице 1.5.

Таблица 1.5.

Способ крепления струйного аппарата	Протяженность куполообразной жидкостной завесы, м.
1	2
1. Струйный аппарат установлен на фланце с бумажной прокладкой и креплением болтовым соединением	5,7
2. Струйный аппарат установлен на фланце с резиновой прокладкой и креплением болтовым соединением.	5,7
3. Струйный аппарат установлен на фланце с резиновой прокладкой и втулками, вставленными в отверстия фланца и креплением болтовыми соединениями, у которых в качестве шайб под болты и гайки установлены свинцовые подкладки	5,7
4. Струйный аппарат соединен со стояком с помощью резинового рукава с хомутами	6,0

Из табл. 1.5. видно, что первых три способа крепления струйного аппарата к стояку гидросистемы струйного комплекса практически не влияют на протяженность куполообразной жидкостной завесы.

Четвертый способ крепления струйного аппарата со стояком гидросистемы струйного комплекса создает необходимые условия для увеличения протяженности куполообразной жидкостной завесы с 5,7 до 6 м, что составляет 16%.

## **2. Методика выбора расчетных схем струйных комплексов.**

Методика разработана и изложена в соответствии с требованиями, предъявляемыми к струйным комплексам, которые можно использовать для защитных целей, технологических нужд и оздоровительных мероприятий /14/.

Для расчетных схем струйных комплексов учитываются следующие критерии:

- объем локализуемого пространства;
- толщина куполообразной жидкостной завесы на выходе из струйного аппарата;

- направление подачи воды к струйному аппарату;
- возможность нахождения элементов струйного комплекса в локализованном пространстве;
- мобильность струйного комплекса.

Решающее значение на эффективность работы струйного комплекса оказывает правильность выбора класса струйного комплекса, при выборе которого следует руководствоваться схемой, предложенной на рис. 13.

На схеме приведены три класса струйных комплексов с большим разнообразием выбора типов струйных аппаратов.

Для струйных комплексов с объемом локализуемого пространства до  $100 \text{ м}^3$  и толщиной куполообразной жидкостной завесы 2,5 мм могут быть рекомендованы следующие две расчетные схемы (см. рис.14 а, в).

### Схема выбора типа струйного аппарата

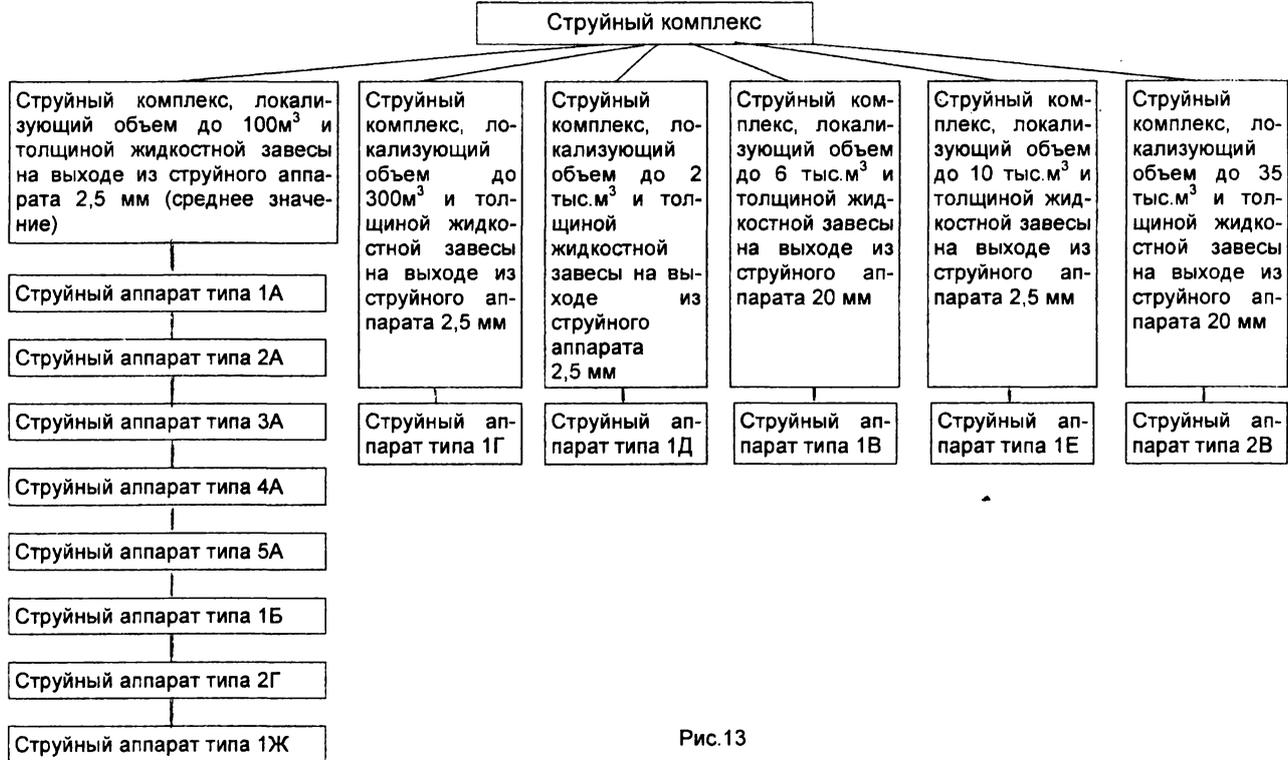
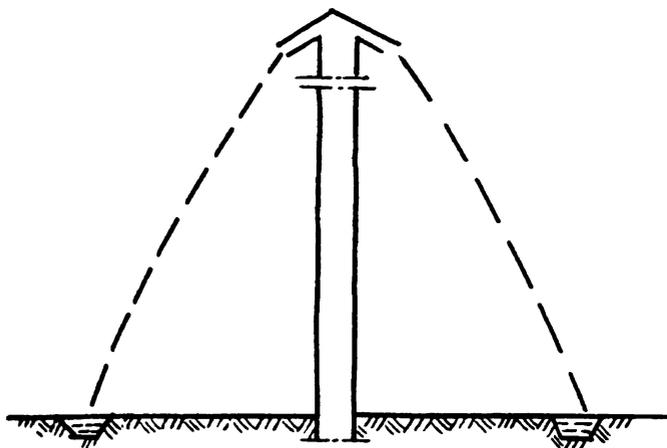


Рис. 13

Расчетные схемы струйных комплексов

а)



б)

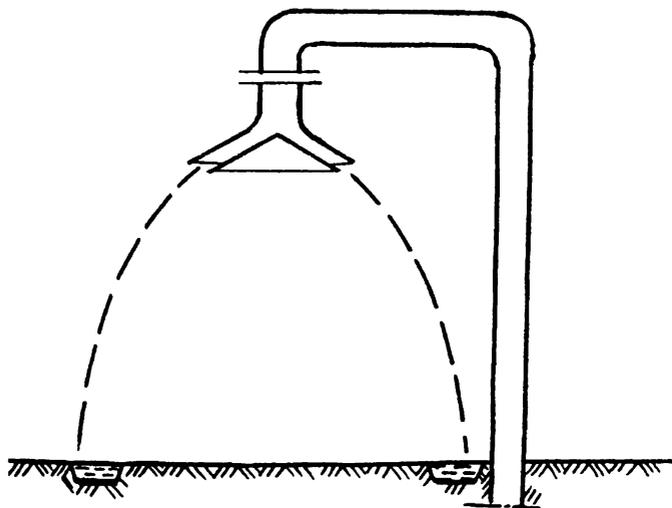


Рис. 14 а – подача воды снизу; б – подача воды сверху.

Из рис. 14 (а и б) видно, что струйные комплексы оснащенные струйными аппаратами типа 1А, 3А, 4А, 2Г, 1Ж и подачей воды снизу целесообразно применять в том случае, когда наличие стояка в локализуемом про-

странстве не является помехой для передвижения людей и установки технологического оборудования.

Струйные комплексы, оснащенные струйными аппаратами 5А, 1Б и подачей воды сверху целесообразно использовать, когда локализуемое пространство должно быть свободным для перемещения людей и технологического оборудования.

На базе струйного аппарата типа 2А могут быть созданы индивидуальные и коллективные средства защиты человека при производстве аварийно-спасательных работ и пожаротушения (см. рис.15).

Расчетная схема струйного комплекса.

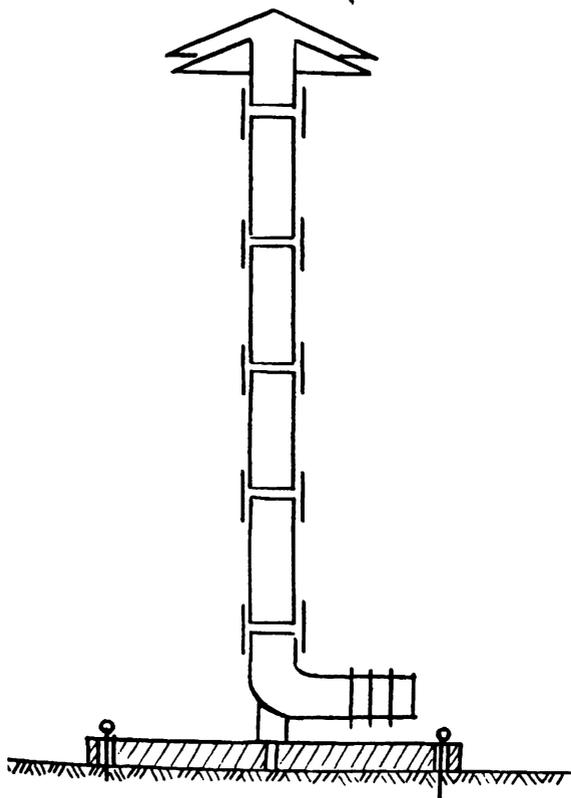


Рис. 15

Эти струйные аппараты могут устанавливаться на твердом основании, перевозиться в специальной тележке или переноситься в ранце. Струйные аппараты такого типа весьма мобильны и масса их (предположительно) не будет превышать 10-15 кг.

При необходимости локализации объектов, имеющих значительную длину и относительно небольшую ширину при высоте не превышающей 3-5 м следует применять расчетную схему, представленную на рис.16 (струйный аппарат типа 1Д).

Расчетная схема струйного комплекса

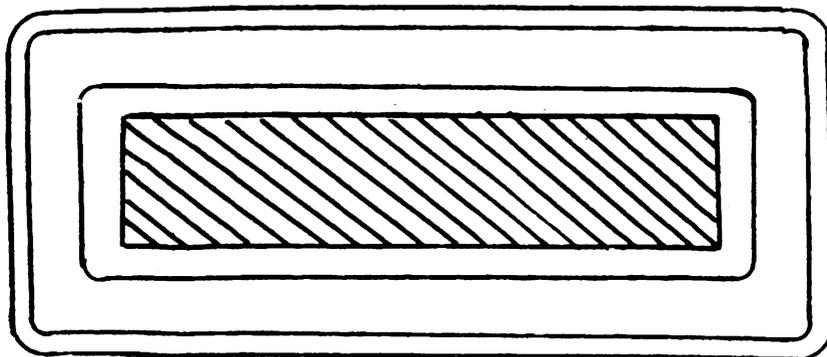


Рис.17

При необходимости локализовать оборудование с геометрическими размерами до 30м в диаметре и до 15-20 м в высоту следует пользоваться расчетной схемой (рис.18, струйный аппарат типа 1В).

Расчетная схема струйного комплекса

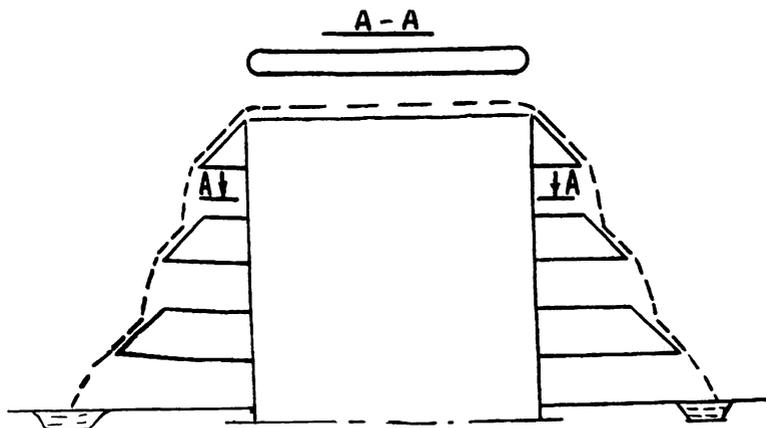


Рис.18

Для защиты от пожара промышленных и гражданских объектов, а также палубного строения на судах морского флота, когда объем локализуемо-

го пространства должен достигать 10 тыс. м<sup>3</sup> следует применять расчетную схему струйного комплекса, представленную на рис.17 (струйный аппарат типа 1Е).

### **3. Рекомендации для конструирования струйных аппаратов, образующих протяженные куполообразные жидкостные завесы.**

На основании проведенных исследований для конструирования струйных комплексов по очистке воздушной среды от загрязнений можно рекомендовать следующие геометрические и гидравлические параметры:

1. Новые конструкции струйных аппаратов обеспечивают возможность формирования куполообразных жидкостных завес значительных размеров. Их можно разделить на две группы: а) состоящие из одной или нескольких пар конических отбойников и соединительного устройства; б) состоящие из конических водосливов с круглым или эллиптическим ребром, установленных ступенчато.
2. Грибовидную форму отбойников струйных аппаратов можно считать оптимальной и отвечающей форме верхнего отбойника, состоящего из усеченного конуса и диффузора, сопряженных по радиусу, и нижнего отбойника, состоящего из усеченного и удлиненного конусов, сопряженных по радиусу.
3. Оптимальный угол раскрытия конических отбойников и водосливов струйных аппаратов лежит в пределах 110-130°.
4. Оптимальная толщина куполообразной жидкостной завесы для струйных аппаратов с двумя сопрягаемыми отбойниками составляет 1,5–3,5 мм.
5. Оптимальное отношение длины стабилизирующего участка к толщине жидкостной завесы на выходе из струйного аппарата лежит в пределах 70–75.
6. Оптимальным диаметром отбойников грибовидной формы можно считать диаметр 400–500 мм.
7. Оптимальным диаметром стояка для струйных аппаратов первой группы с отбойниками грибовидной формы можно считать размер 250–350 мм.
8. Оптимальная скорость излива куполообразной жидкостной завесы для струйных аппаратов первой группы лежит в пределах 10–14 м/с.
9. Оптимальной формой водосливов для струйных аппаратов второй группы является усеченный конус с круглым или эллиптическим ребром.
10. Оптимальный диаметр водосливов первой степени струйных аппаратов второй группы составляет 5–10 м.
11. Каждый последующий диаметр водосливов струйных аппаратов второй группы следует увеличивать на 5 м.

12. Струйные комплексы, образованные круглыми водосливами, установленными ступенчато, образуют протяженную куполообразную завесу при напоре не менее 0,3 м.
13. Для достижения максимальной протяженности куполообразной жидкостной завесы *шероховатость* поверхности проточной части струйного аппарата должна соответствовать *6-му классу*, в соответствии с нормативными документами.
14. Установление гибкой связи в виде резинового рукава с хомутами между струйным аппаратом и стояком приводит к увеличению протяженности куполообразной жидкостной завесы на 16%.
15. Струйные комплексы, оснащенные струйными аппаратами, образованными двумя грибовидными отбойниками, образуют протяженные куполообразные жидкостные завесы при гарантийном напоре в системе более 60 м.
16. Пропускная способность струйных аппаратов первой группы (в зависимости от размера грибовидных отбойников) при напоре в системе 60 м составляет от 2 до 100 л/с.
17. Пропускная способность струйных аппаратов второй группы составляет от 100 до 300 л/с и более.

### Литература.

1. Демичев Д.М. Экологическое право.- Минск, Ураджай, 2202. – 460с.
2. Бертокс П., Радд Д. Стратегия защиты окружающей среды от загрязнений. Пер. с англ. – М.: Мир, 1980. – 606с.
3. Кулешов В.П. Охрана природы от загрязнений промышленными выбросами. – М.: Химия, 1979. – 240с.
4. Михайлов А.М. Охрана окружающей среды при разработке месторождений открытым способом. – М.: Недра, 1981. – 184с.
5. Зарубин Г.П., Никитин Д.П., Новиков Ю.В. Окружающая среда и здоровье. – М.: Знание, 1977. – 128с.
6. Михайлов В.А., Берескевич П.В. Снижение запыленности и загазованности воздуха на открытых горных работах. – Киев: Техника, 1975.- 155с.
7. Черепенников А.А. Химия воздушной среды.- Л.: Стройиздат, 1971.- 128с.
8. Детри Ж. Атмосфера должна быть чистой. Пер. с франц.- М.: Прогресс, 1973.- 420с.
9. Гетов Л.В., Сычева А.В. Охрана природы.- Минск, Вышэйшая школа, 1986.- 240с.
10. Коммонер Б. Замыкающий круг. Природа, человек, технология. Пер. с англ.- Л.: Гидрометеиздат, 1974.- 248с.
11. Новиков В.М., Строкач П.П. Защитный водяной колпак. – «Сельское хозяйство Беларуси», №1, 1979.
12. Лукашов В.К., Лукашов К.И. Научные основы охраны окружающей среды. – Минск: Высшая школа, 1980.- 255с.
13. Ласкорин Б.Н., Громов Б.В., Цыганков А.П., Сенин В.Н. Проблемы развития безотходных производств. – М.: 1981. – 450с.
14. Новиков В.М. А.С. 1132402. – Бюл. Изобр., 1984.
15. Новиков В.М. А.С. 1197224. – Бюл. Изобр., 1985.
16. Химия окружающей среды. /Под. Редакцией Дж.О.М. Бокриса. – М.: Химия, 1982.- 671с.
17. Шевелев Ф.А. Таблицы для гидравлического расчета стальных, чугунных и асбестоцементных водопроводных труб.- М.: Госстройиздат, 1962. – 138с.
18. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. М.: Машиностроение, 1975. – 556с.
19. Киселев П.Г. Справочник по гидравлическим расчетам. – М.: Энергия, 1974.- 313с.
20. Строкач П.П., Новиков В.М. Некоторые закономерности оздоровления воздушного бассейна струйными комплексами. Вестник Брестского государственного технического университета. Брест, №2, 2002.

## Содержание

Введение .....	3
1. Поисковая работа по совершенствованию формы, определению размеров, выявлению влияния шероховатости поверхности проточной части, выбору параметров и способов крепления струйных аппаратов, формирующих протяженные куполообразные жидкостные завесы .....	4
1.1. Классификация струйных аппаратов .....	4
1.3. Задачи экспериментального исследования .....	9
1.4. Методика исследований .....	9
1.4.1. Выбор угла раскрытия конических отбойников и водосливов .....	9
1.4.2. Установление оптимальной толщины куполообразной жидкостной завесы на выходе из струйного аппарата .....	11
1.4.3. Определение оптимального отношения длины стабилизирующего участка к толщине жидкостной завесы на выходе из струйного аппарата .....	13
1.4.4. Устройство диффузора и закругления в нижнем, конуса и закругления в верхнем отбойниках струйных аппаратов .....	14
1.4.5. Влияние шероховатости поверхности проточной части струйных аппаратов на коэффициент расхода .....	16
1.4.7. Описание экспериментальных установок .....	17
1.5. Методы и результаты обработки экспериментальных данных .....	20
1.5.1 Выбор угла раскрытия конических отбойников и водосливов .....	20
1.5.2 Установление оптимальной толщины куполообразной жидкостной завесы на выходе из струйного аппарата .....	22
1.5.3 Определение оптимального отношения длины стабилизирующего участка к толщине жидкостной завесы .....	23
1.5.4. Устройство диффузора и закругления в нижнем, конуса и закругления в верхнем отбойниках струйных аппаратов .....	23
1.5.5. Влияние шероховатости проточной части струйных аппаратов на коэффициент расхода .....	24
1.5.6. Изучение влияния способа крепления струйных аппаратов на протяженность куполообразной жидкостной завесы .....	26
2. Методика выбора расчетных схем струйных комплексов .....	26
3. Рекомендации для конструирования струйных аппаратов, образующих протяженные куполообразные жидкостные завесы .....	32
Литература .....	34

Составитель: Строкач Петр Павлович  
Новиков Владимир Макарович  
Житенев Борис Николаевич  
Яловая Наталья Петровна  
Меженная Ольга Борисовна

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАСЧЕТУ И  
ВЫБОРУ СТРУЙНЫХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ ЗАЩИТЫ  
ВОЗДУШНОЙ И ВОДНОЙ СРЕДЫ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЙ  
ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ОТРАСЛЕВАЯ ЭКОЛОГИЯ» ДЛЯ  
СТУДЕНТОВ ВСЕХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ ДНЕВНОЙ И  
ЗАОЧНОЙ ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ.**

Ответственный за выпуск: Новиков В.М.  
Редактор: Строкач Т.В.  
Корректор: Никитчик Е.В.  
Компьютерный набор и верстка: Романчук А.С.

---

Подписано к печати 17.03.2003 г. Формат 60x84<sup>1</sup>/<sub>16</sub> Бумага писч. Гарнитура Arial.  
Усл. п.л. 2,1 Уч. изд. л. 2,25 Тираж 100 экз Заказ № 278. Отпечатано на ризографе  
Учреждения образования «Брестский государственный технический университет».  
224017, Брест, ул. Московская, 267.