

УДК 626.81/84:626.83

И. Н. Бохон

Акимовское межрайонное управление водного хозяйства Запорожского
облводресурсов Госводагентства Украины, Акимовка, Украина

ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ ПОТОКА В ВОДОИСТОЧНИКЕ НА ПОТЕРИ НАПОРА В СЕТЧАТОМ ФИЛЬТРЕ ВОДОЗАБОРНОГО СООРУЖЕНИЯ

В статье рассмотрен вопрос влияния скорости течения в водоисточнике на изменение гидравлических параметров плоского сетчатого фильтра. Исследования проводились с целью определения интенсивности и уровня влияния режима работы водоисточника (канала) на пропускную способность (гидравлические параметры) водозаборного сооружения, оборудованного сетчатыми фильтрами взамен штатных фильтрующих кассет объемного типа, при максимальном расходе водоподачи насосной станции. Определение гидравлических параметров водозаборного сооружения проводилось на основании натурных исследований и статистической обработки данных наблюдений при эксплуатации межхозяйственного распределителя Р-9 КОС и гидроузла насосной станции НСП-1, математического моделирования гидравлических процессов в плоских сетчатых фильтрах при косом подходе потока от водоисточника к водозаборному сооружению, использования аналитических методов определения параметров указанного процесса. Предложена модель движения потока вдоль сетчатого полотна при косом подходе к водозаборному сооружению. На основании данной модели выведены зависимости для определения полного коэффициента гидравлического сопротивления и объемного расхода для сетчатого фильтра. Приведены данные модельных и натурных исследований водозаборного сооружения. В соответствии с предложенной моделью движения потока вдоль сетчатого полотна при косом подходе, с увеличением скорости движения воды в водоисточнике увеличивается суммарный коэффициент сопротивления фильтрующего устройства до 0,368–0,499 в зависимости от изменения вектора скорости относительно оси ячеек сетки. Проведенные натурные исследования подтвердили, что рост потерь напора в плоском сетчатом фильтре при увеличении скорости потока до 0,7 м/с в водоисточнике в пределах эксплуатационного режима не приводит к уменьшению заглубления входных отверстий всасывающих трубопроводов ниже минимально допустимого уровня 0,5 м.

Ключевые слова: водозаборное сооружение, плоский сетчатый фильтр, скорость потока, вектор скорости, коэффициент гидравлического сопротивления, потери напора, пропускная способность.

I. N. Bokhon

Akimovskoe inter-district water management Zaporozhia oblvodresursov Gosvodagentstva of Ukraine, Akimovka, Ukraine

INFLUENCE OF FLOW VELOCITY IN WATER SOURCE ON PRESSURE LOSS IN SCREEN FILTER OF WATER INTAKE FACILITIES

The article deals with the issue of the influence of flow velocity in water source on the change of hydraulic parameters of flat screen filter. The research was conducted to determine intensity and the level of impact of water source (canal) operation regime on flow capacity

(hydraulic parameters) of water intake facilities equipped by screen filters instead of standard filtering cartridge of volume type at the maximal flow rate of pump station. Hydraulic parameters were determined on the base of field observation and statistical processing of data at the operation of inter-farm distributor and hydrosystem of pump station, as well as math simulation of hydraulic processes in screen filters at a skew junction of flow from water source to water intake facilities, and using analytical methods for determine parameters of the mentioned process. The model of flow movement along the screen at a skew junction to water intake facilities was proposed. On the base of the given model the relations for the full coefficient of hydraulic resistance and volumetric flow rate for screen filter were developed. Data of model and field study of water intake facilities have shown. According to the proposed model of flow movement along the screen at a skew junction, the increasing of water movement velocity in water source causes the increasing of cumulative coefficient of resistance for filtering device up to 0.368–0.499 depending on the change of velocity vector relative to the axis of mesh. The field study has justified that increasing of pressure loss in flat screen filter while flow velocity increasing up to 0.7 m/sec. in water source within the operation regime doesn't reduce the penetration of inlet orifices of suction pipelines below minimal allowed level of 0.5 m.

Keywords: water intake facilities, flat screen filter, flow velocity, velocity vector, coefficient of hydraulic resistance, pressure loss, flow capacity.

Конструкция типового водозаборного сооружения мелиоративной насосной станции предусматривает установку на входе фильтрующих каскет с загрузкой из щебня (керамзита) с целью очистки воды, принимаемой из водоемисточника, от взвешенных частиц (минерального и растительного происхождения) и плавающего мусора [1].

В результате многолетних наблюдений автора за граничной мутностью $P_{гр}$ на основе использования метода гидрологических обобщений сделан вывод, что вода в канале Р-9 Каховской оросительной системы (КОС) по содержанию взвешенных веществ соответствует основным требованиям к качеству поливной воды для дождевальных машин «Фрегат» и не требует дополнительной очистки. При таких условиях взамен типовых фильтрующих каскет объемного типа применены плоские сетчатые фильтры (фильтры поверхностного типа), не имеющие основного недостатка, свойственного фильтрам объемного типа, – глубинной гидравлической деформации (кольматации) фильтрующей загрузки плавающим мусором.

При расчете гидравлических параметров сетчатого фильтра площадь

его фронтальной поверхности S_c принималась равной площади фильтрующей кассеты. Объемный расход воды через чистую сетку определялся исходя из требований допустимых потерь напора (перепада уровней между водоисточником и аванкамерой). При этом применялось следующее выражение А. Д. Альтшуля (для $0,35 \leq m \leq 0,85$) [2]:

$$\zeta_{\text{сет.ф.}} = \frac{92 - 78m}{\text{Re}_a} + 0,7(1,05 - m),$$

где Re_a – число Рейнольдса;

m – коэффициент скважности (живого сечения) сетки:

$$m = \frac{a^2}{t^2},$$

где a – размер стороны ячейки сетки, м;

t – шаг сетки, м.

Объемный расход через сетчатый фильтр определялся по формуле Вейсбаха:

$$Q = H L m \sqrt{\frac{h_c 2g}{\zeta_{\text{сет.ф.}}}},$$

где H – высота сетчатого фильтра, м;

L – длина сетчатого фильтра, м;

m – коэффициент скважности (живого сечения) сетки;

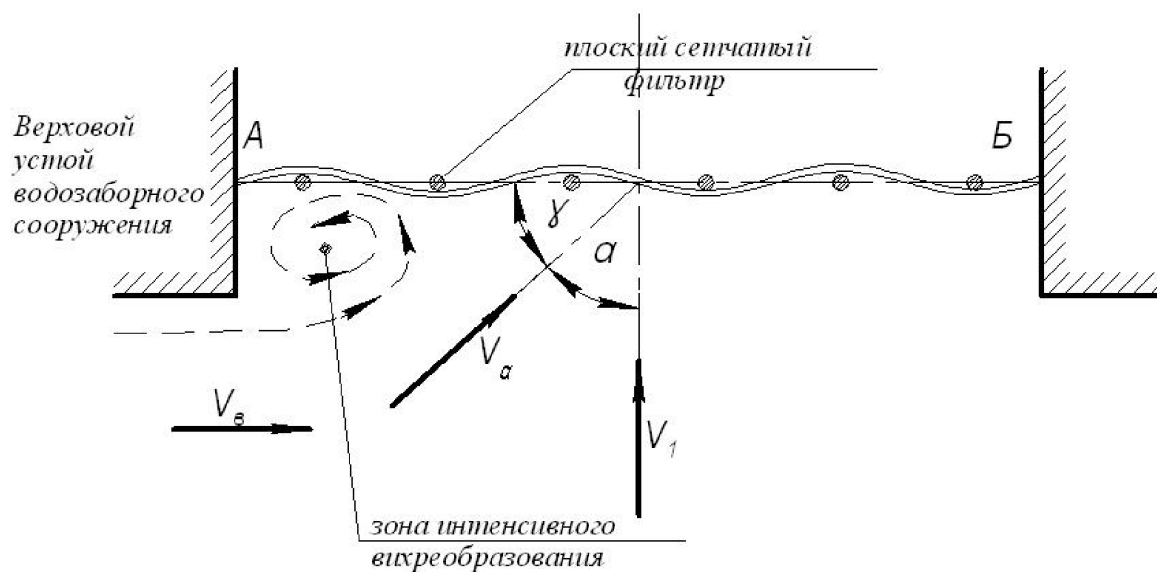
h_c – потери напора в сетчатом фильтре (перепад уровней между водоисточником и аванкамерой водозаборного сооружения), м;

$\zeta_{\text{сет.ф.}}$ – коэффициент гидравлического сопротивления (потерь напора) сетчатого фильтра.

Однако это выражение можно использовать для расчета объемного расхода при расположении плоскости сетчатого фильтра перпендикулярно оси потока, входящего в сооружение ($\alpha = 0^\circ$) (рисунок 1).

При скоростях течения в транзитном канале до 1,2 м/с ось водоприемника рекомендуется ориентировать перпендикулярно оси канала.

При таком расположении водоприемника имеет место косой подход потока к сооружению [1].



V_1 – средняя скорость фронтального подхода воды от водоисточника к водозаборному сооружению; V_α – средняя скорость при косом подходе воды к водозаборному сооружению; $V_\text{в}$ – скорость потока в водоисточнике

Рисунок 1 – Схема подхода потока к сетчатому фильтру

При косом подходе, когда ось потока находится под углом к плоскости сетки ($\alpha > 0^\circ$) либо параллельна ей ($\alpha = 90^\circ$ – касательное течение), подходя к сетке, поток вынужден поворачивать на некоторый угол ($0^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$), при этом вектор скорости может не совпадать с осью ячеек.

Сделаем допущение, что поток движется вдоль сетки от точки А по направлению к точке В (рисунок 1). В точке А скорость на входе в ячейку будет минимальной в связи с уменьшением площади проекции живого сечения сетчатого фильтра при увеличении угла α (взаимным «затенением» элементов сетки). При дальнейшем движении продольная составляющая скорости создает динамическое давление и изменение вектора потока [3], которое приводит к увеличению скорости на входе в ячейки. Соответственно, в точке В скорость на входе в ячейку будет максимальной.

В этом случае для определения коэффициента потерь напора в сетчатом фильтре рекомендуется следующая зависимость [4]:

$$\zeta_{\text{сум}} = \frac{1}{L} \int_L^1 (\zeta_c \cos \gamma) k_v^3 \cos \gamma dL, \quad (1)$$

где ζ_c – коэффициент гидравлического сопротивления сетчатого фильтра при фронтальном подходе потока;

γ – угол вектора скорости относительно продольной (горизонтальной) оси полотна сетчатого фильтра;

k_v – коэффициент неравномерности скорости:

$$k_v = 0,5Fr + 0,75 - 0,38 \lg \left(\frac{y_i}{L} \right),$$

где L – длина сетчатого фильтра, м;

y_i – координаты точки (l_i, h_i) , м;

Fr – число (критерий) Фруда:

$$Fr = \frac{V_a^2}{gL},$$

где L – характерный размер области, в которой рассматривается течение, м.

Однако для применения зависимости (1) необходимо иметь данные о векторах и распределении скорости по всей ширине и глубине потока перед плоскостью сетчатого фильтра.

Для определения теоретических дополнительных потерь напора при косом подходе потока от водоисточника предположим, что профиль изменения скорости вдоль сетки является прямолинейным и на входе в ячейки происходит полный поворот потока. В таком случае потери будут аналогичны потерям напора при плавном повороте труб квадратного сечения [2]. При этом начинает сказываться возмущающее влияние одного сопротивления на другое – нарушается режим течения потока с установившимся полем скоростей, и изменяются условия подхода жидкости к каждому последующему местному сопротивлению.

Однако исследования, проведенные Н. В. Левкоевой и И. А. Ждановым, показали, что при малых значениях Re суммарный коэффициент со-

противления мало отличается от суммы единичных коэффициентов сопротивления [3].

Соответственно, для данного случая полный коэффициент гидравлического сопротивления, согласно принципу наложения потерь, будет равен:

$$\zeta_{\text{сум}} = \zeta_{\text{с}} + \zeta_{\text{п}},$$

где $\zeta_{\text{с}}$ – коэффициент гидравлического сопротивления сетчатого фильтра;

$\zeta_{\text{п}}$ – коэффициент гидравлического сопротивления при повороте потока на угол α относительно оси ячейки ($\alpha = 0 \dots 90^\circ$) [2]:

$$\zeta_{\text{п}} = \left(0,124 + 3,1 \left(\frac{a}{2t} \right)^{3,5} \right) \sin \alpha.$$

Таким образом, объемный расход жидкости через сетчатый фильтр при косом подходе потока равен:

$$Q = mH \int_L^1 V_1(L) dL \sqrt{\frac{1}{\zeta_{\text{с}} + \left(0,124 + 3,1 \left(\frac{a}{2t} \right)^{3,5} \right) \sin \alpha}}, \quad (2)$$

где H – глубина воды перед сетчатым фильтром, м;

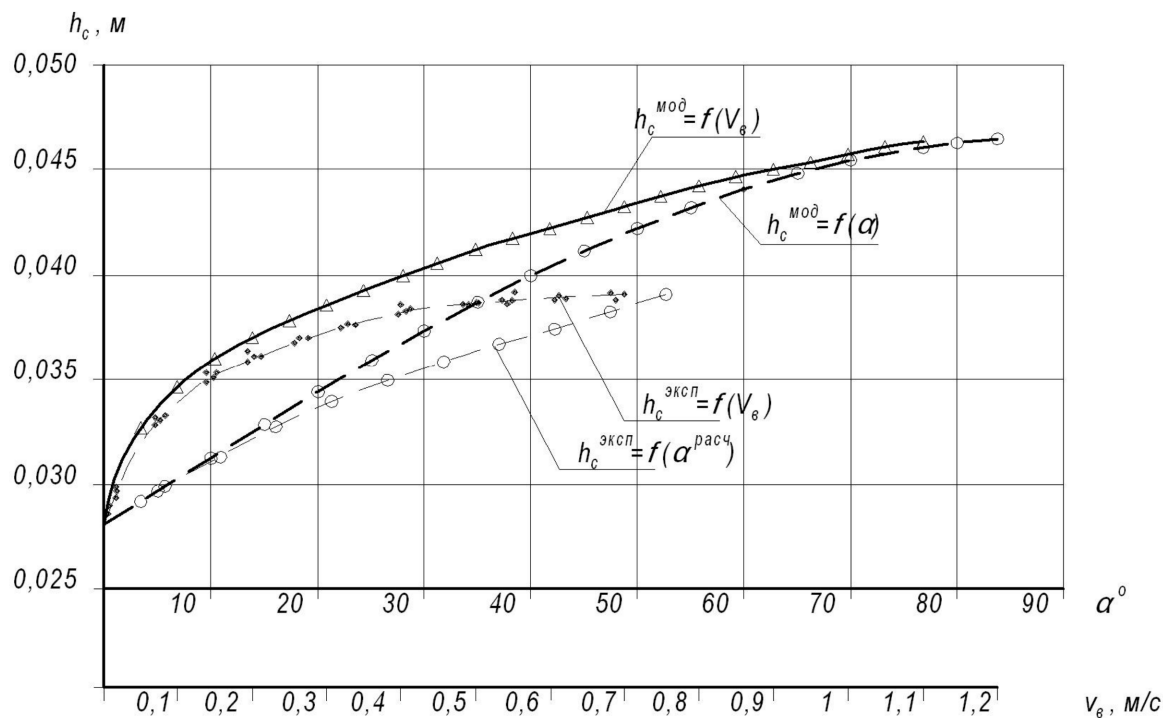
L – длина сетчатого фильтра, м.

Теоретическое определение суммарных потерь напора при косом подходе потока проводилось для водозаборного сооружения, имеющего следующие параметры (при минимальном уровне в водоисточнике): $L = 4,32$ м; $H = 1,39$ м; $S = 6,0$ м²; $Q_{\text{max}} = 0,735$ м³/с; $V_1 = 0,1225$ м/с; $V_{\text{в}} = 0 \dots 1,2$ м/с; $m = 0,36$ ($a = 3$ мм; $t = 5$ мм).

Зависимость теоретических $h_{\text{с}}^{\text{мод}}$ и экспериментальных $h_{\text{с}}^{\text{эксп}}$ суммарных потерь напора в сетчатых фильтрах водозаборного сооружения НСП-1 межхозяйственного распределителя Р-9 КОС от величин α и $V_{\text{в}}$ приведена на рисунке 2.

При проведении экспериментальных исследований скорость воды в водоисточнике (канале Р-9 КОС) измерялась в створах временного водо-

мерного поста с помощью гидрометрических шестов с глубиной погружения $0,8h$, соответственно определялась средняя скорость на вертикали $V_B = U_{0,8h}$. В процессе эксперимента контролировалось отсутствие засорения сетчатого полотна.



$h_c^{\text{мод}} = f(V_B)$ – теоретическая зависимость суммарных потерь напора от скорости потока в водоисточнике; $h_c^{\text{мод}} = f(\alpha)$ – теоретическая зависимость суммарных потерь напора от величины угла α ; $h_c^{\text{эксп}} = f(V_B)$ – экспериментальная зависимость суммарных потерь напора от скорости потока в водоисточнике; $h_c^{\text{эксп}} = f(\alpha^{\text{расч}})$ – экспериментальная зависимость суммарных потерь напора от расчетной величины угла $\alpha [f(V_B, V_1)]$

Рисунок 2 – Теоретические и экспериментальные потери напора в плоском сетчатом фильтре в зависимости от угла подхода и скорости потока в водоисточнике

Полученные в результате натурных исследований величины суммарных потерь напора в плоском сетчатом фильтре $h_c^{\text{эксп}}$ (рисунок 2) при скорости потока в водоисточнике $V_B < 0,3$ м/с показали удовлетворительное совпадение с теоретическими данными. С увеличением скорости потока $V_B > 0,3$ м/с возникает значительное расхождение между экспериментальными данными с расчетными значениями, полученными по предлагаемой

зависимости (2). Предположительно, несогласованность фактических потерь напора с теоретическими данными вызвана неполным соответствием выбранной модели движения жидкости вдоль сетчатого полотна: при скорости потока в водоисточнике $V_b > 0,3$ м/с в районе верхового устья водозаборного сооружения образуется зона интенсивного вихреобразования (область возмущения) (рисунок 1), в которой профиль распределения и векторы скорости вдоль сетки не соответствуют предложенной модели. Как видно из рисунка 2, отдельные экспериментальные величины не согласуются с экспериментальным рядом, что, наиболее вероятно, вызвано несвоевременной очисткой сетчатого полотна от поверхностных загрязнений при проведении замеров.

Предлагаемую зависимость (2) можно применять для расчета потерь напора в плоских сетчатых фильтрах при косом подходе потока при условии введения дополнительного эмпирического коэффициента $K_{кз}$. Этот коэффициент учитывает влияние конструктивных элементов на «затенение» водоприемных отверстий водозаборного сооружения: интенсивности и величины зоны искажения потока, подходящего от водоисточника. Коэффициент зависит от конфигурации местного сопротивления и нескольких безразмерных величин. В связи с малым значением числа Рейнольдса его в коэффициенте можно не учитывать. $K_{кз}$ определяется по формуле:

$$K_{кз} = f\left(\frac{b_{вс}}{b_k}; \frac{H}{b_k}; \psi; \frac{a(f(V_b, V_l))}{180^0}\right),$$

где $b_{вс}$ – ширина водоприемного отверстия водозаборного сооружения, м;

b_k – ширина канала (водоисточника) в районе водозаборного сооружения, м;

H – глубина воды перед водозаборным сооружением, м;

ψ – коэффициент смягчения, обусловленный конструкцией сооружения, влияет на плавности изменения вектора скорости на входе в него.

Выводы

1 Выполненные исследования водозаборного узла с плоским сетчатым фильтром, установленным вместо штатных кассет с загрузкой из щебня, подтвердили, что сооружение обеспечивает максимальную пропускную способность при любой скорости потока в канале в пределах эксплуатационного режима.

2 В соответствии с предложенной моделью движения потока вдоль сетчатого полотна при косом подходе, с увеличением скорости движения воды в водоисточнике увеличивается суммарный коэффициент сопротивления фильтрующего устройства до $\zeta_{\text{сум}} = 0,368 \dots 0,499$ в зависимости от изменения вектора скорости относительно оси ячеек сетки.

3 Проведенные модельные и натурные исследования подтвердили, что рост потерь напора в плоском сетчатом фильтре при увеличении скорости потока в водоисточнике (в т. ч. при максимальной эксплуатационной скорости $V_{\text{в}} = 0,7$ м/с) не приводит к уменьшению заглубления входных отверстий всасывающих трубопроводов ниже минимально допустимого уровня $h_{\text{заг. min}} \geq 0,5$ м.

Список использованных источников

1 Проектирование насосных станций и испытание насосных установок / В. В. Рычагов, В. Ф. Чабаяевский, К. П. Вишневский, А. А. Третьяков [и др.]. – М.: Колос, 1982. – 320 с.

2 Справочник по гидравлическим расчетам / П. Г. Киселёв, А. Д. Альтшуль, Н. В. Данильченко, А. А. Каспарсон, Г. И. Кривченко, Н. Н. Пашков, С. М. Слиский; под ред. П. Г. Киселёва. – 5-е изд. – М.: Энергия, 1974. – 312 с.

3 Рабинович, Е. З. Гидравлика / Е. З. Рабинович. – М.: Недра, 1978. – 304 с.

4 Егоршин, С. И. Водоприемники и сороудерживающие устройства гидроэлектростанции: экспресс-информация / С. И. Егоршин. – М.: Информэнерго, 1978. – 72 с. – (Строительство гидроэлектростанций).

Бохон Игорь Николаевич – начальник, Акимовское межрайонное управление водного хозяйства Запорожского облводресурсов Госводагентства Украины, Акимовка, Украина. Контактный телефон: (06131) 9-19-72.
E-mail: auos@zp.ukrtel.net

Bokhon Igor Nikolaevich – head of department, Akimovskoe inter-district water management Zaporozhia oblvodresursov Gosvodagentstva of Ukraine, Akimovka, Ukraine.
Contact telephone number: (06131) 9-19-72.
E-mail: auos@zp.ukrtel.net