

ЛИТЕРАТУРА

1. СНиП II-32-74. Нормы проектирования. Канализация, Наружные сети и сооружения. — М., 1975, с. 89. 2. Алексеев Г.А. Расчеты паводочного стока рек СССР. — Л., 1955, с. 198. 3. Брукс К., Карузерс Н. Применение статистических методов в метеорологии: Пер. с англ. — Л., 1963, с. 416. 4. Метеорологический ежемесячник. Вып. 7, ч. 2, № 1–13. — Минск, 1961–1980. 5. Рождественский А.В., Чеботаров А.И. Статистические методы в гидрологии. — Л., 1974, с. 424. 6. Артемьева Н.П., Лившиц И.М. Применение статистических критериев для исключения выделяющихся членов гидрологических рядов. — В сб.: Водное хозяйство Белоруссии. Минск, 1972, вып. 2, с. 5–16.

УДК 628.143.001.2

В.Л.СТАРИНСКИЙ, канд.техн.наук (БПИ)

ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ВОДОВЫПУСКОВ И ВОЗДУХОВПУСКНЫХ УСТРОЙСТВ ВОДОПРОВОДНЫХ ЛИНИЙ

Расчет водовыпусков и воздухопускных устройств водопроводных линий, разработанный А.А.Суриным несколько десятилетий назад [1, 2] и используемый до настоящего времени без каких-либо изменений, имеет ряд существенных недостатков и требует уточнения. Во-первых, он предусматривает ограничения на длину опораживаемых линий (до 1,5 км) и вполне определенное соотношение между диаметрами этих линий и их водовыпусков (около 3,5). Во-вторых, не учитывает влияния напора водовыпуска и гидравлического сопротивления линий на процесс и время их опорожнения.

В связи с необходимостью учета этих факторов при современном проектировании водопроводных сетей рассмотрим процесс опорожнения наклонных водопроводных линий без наложения на факторы каких-либо искусственных ограничений. В частности, из условия баланса напоров представленной на рис. 1, а опораживаемой линии можно составить равенство

$$H_B + H_L = (r_B + r_{OL} l_L) Q_B^2, \quad (1)$$

где H_B и H_L — напоры водовыпуска и опораживаемой линии, соответственно; r_B — коэффициент гидравлического сопротивления водовыпуска; r_{OL} — коэффициент удельного (на единицу длины) гидравлического сопротивления опораживаемой линии; l_L — длина заполненной водой части этой линии; Q_B — расход воды из водовыпуска.

Если величину l_L представить через H_L и I_L как $l_L = H_L : I_L$, то выражение (1) получим в виде

$$H_B + H_L = \left(r_B + r_{OL} \frac{H_L}{I_L} \right) Q_B^2 = (r_B + r'_{OL} H_L) Q_B^2, \quad (2)$$

где $r'_{OL} = r_{OL} : I_L$ — коэффициент удельного гидравлического сопротивления опораживаемой линии, отнесенный к единице длины ее вертикальной проекции; I_L — геометрический уклон рассматриваемой линии.

Из выражения (2) следует, что

$$Q^2 = \frac{H_B + H_{Л}}{r_B + r'_{ОЛ} H_{Л}}; \quad Q \sqrt{\frac{H_B + H_{Л}}{r_B + r'_{ОЛ} H_{Л}}}; \quad v_B = \frac{4}{\pi d_B^2} \sqrt{\frac{H_B + H_{Л}}{r_B + r'_{ОЛ} H_{Л}}}, \quad (3)$$

где d_B – диаметр водовыпуска.

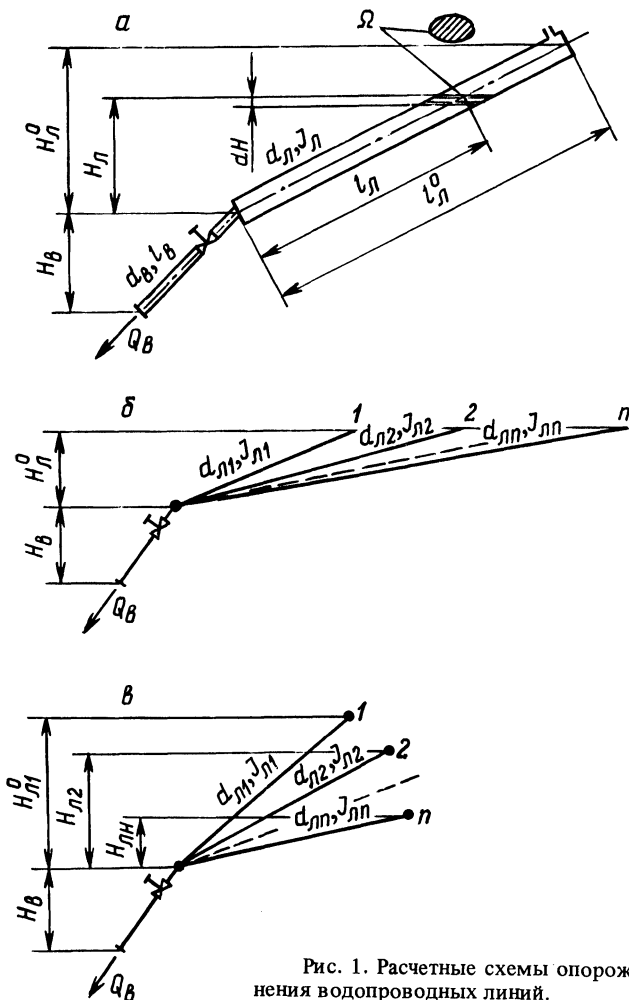


Рис. 1. Расчетные схемы опорожнения водопроводных линий.

Величину коэффициента гидравлического сопротивления водовыпуска определяют по формуле $r_B = r_{ОВ} l_B + 16(1 + \sum \xi_B) / 2g\pi^2 d_B^4$, где $r_{ОВ}$ – коэффициент удельного гидравлического сопротивления водовыпуска; l_B – длина водовыпуска; $\sum \xi_B$ – сумма коэффициентов всех местных сопротивлений водовыпуска; g – ускорение земного тяготения.

Из выражений (3) следует, что расход воды водовыпуска и скорость истечения из него потока зависят от соотношения величин H_B, H_L, r_B и $r'_{ол}$. Поскольку величина H_L во всех случаях изменяется от своего максимального значения H_L^0 до 0, характер истечения из водовыпуска будет определяться соотношением величин H_B, r_B и r'_L . При этом могут иметь место следующие три характерных случая: 1) расход и скорость истечения воды из водовыпуска достигают своего максимума в начале опорожнения линии и по мере снижения напора уменьшаются; 2) расход и скорость истечения воды остаются в водовыпуске постоянными на протяжении всего времени опорожнения линии; 3) расход и скорость водовыпуска достигают своего максимального значения в конце опорожнения линии.

Чтобы выяснить, при каких условиях имеет место каждый из них, воспользуемся свойствами производной от Q_B или Q_B^2 по переменному H_L . Для удобства дифференцирования примем производную вида

$$\frac{\partial (Q_B^2)}{\partial H_L} = \frac{r_B + r'_L H_B}{(r_B + r'_L H_L)^2} \quad (4)$$

Поскольку для первого случая производная $\partial Q_B^2 / \partial H_L$ должна быть положительной (с повышением H_L Q_B и Q_B^2 возрастают, и наоборот), то из выражения (4) можно вывести, что это всегда будет иметь место при $r_B > r'_L H_B$. Аналогично можно показать, что второй случай истечения воды из рассматриваемой системы труб наблюдается при $r_B = r'_L H_B$ и третий — при $r_B < r'_L H_B$ (для них производная (4) должна быть соответственно равной нулю и меньше нуля). Эту особенность необходимо учитывать при проектировании их водовыпусков и воздухопускных устройств.

Время опорожнения водопроводной линии найдем из условия равенства объемов вытекаемой из нее воды и освобождаемого в линии пространства за любой элементарный промежуток времени dt , которое представим в виде

$$Q_B dt = \Omega dH, \quad (5)$$

где Ω — площадь горизонтальной поверхности воды и опораживаемой водопроводной линии $\pi d_L^2 : 4I_L$; dH — элементарное снижение уровня воды в линии по вертикали за время dt ; Q_B — расход воды из водовыпуска за этот же промежуток времени.

Разделив переменные в выражении (5) и используя приведенное выше выражение для величины Q_B , получим:

$$dt = \frac{\Omega}{Q_B} dH = \frac{\Omega}{\sqrt{\frac{H_B + H_L}{r_B + r'_L H_L}}} dH = \Omega \sqrt{\frac{r_B + r'_L H_L}{H_B + H_L}} dH.$$

Если проинтегрировать левые и правые части этого выражения соответственно от 0 до T и от H_L^0 до H_B , то окончательно получим, что время опорожне-

ния через принятый водовыпуск рассматриваемой линии в секундах будет равно

$$T = \Omega (\sqrt{(r_B + r'_L H_L^0) (H_B + H_L^0)} - \sqrt{2H_B (r_B + r'_L H_B)}) - \frac{r'_L H_B - r_B}{\sqrt{r'_L}} \ln \frac{\sqrt{r'_L (H_B + H_L^0)} + \sqrt{r'_L H_L^0 + r_B}}{\sqrt{2r'_L H_B} + \sqrt{r'_L H_B + r_B}}. \quad (6)$$

По полученной формуле можно определять время опорожнения не только одной, но и нескольких одновременно опоражниваемых водопроводных линий. Для этого достаточно найти лишь соответствующие им величины Ω и r'_L . Например, если одним водовыпуском с принятыми r_B и H_B опоражнивается одновременно несколько линий, различных по d_L и I_L , но имеющих одинаковые отметки начала и конца (рис. 1, б), то величину T можно определить по формуле (6), принимая

$$\Omega = \frac{\pi}{4} \left(\frac{d_{L1}^2}{I_{L1}} + \frac{d_{L2}^2}{I_{L2}} + \dots + \frac{d_{Ln}^2}{I_{Ln}} \right) \quad \text{и}$$

$$r'_L = \frac{1}{\left(\frac{1}{\sqrt{r_{01} : I_{L1}}} + \frac{1}{\sqrt{r_{02} : I_{L2}}} + \dots + \frac{1}{\sqrt{r_{0n} : I_{Ln}}} \right)^2},$$

где $d_{L1}, d_{L2}, \dots, d_{Ln}$ — диаметры опоражниваемых линий; $I_{L1}, I_{L2}, \dots, I_{Ln}$ — их геометрические уклоны; $r_{01}, r_{02}, \dots, r_{0n}$ — коэффициенты удельного гидравлического сопротивления этих линий.

При опорожнении по этой схеме n одинаковых по d_L и I_L линий $\Omega = \pi/4 \times n \frac{d_L^2}{I_L}$ и $r'_L = r_{0L}/n^2 I_L$. Когда опоражниваемые одним водовыпуском линии имеют различные диаметры, уклоны и отметки верхних концов (рис. 1, в), в работу на опорожнение они включаются последовательно, по мере снижения уровня воды. Время полного опорожнения такой системы линий $T = T_1 + T_2 + \dots + T_n$. Здесь T_1, T_2, \dots, T_n — продолжительность опорожнения рассматриваемой системы линий в пределах выделенной разности характерных уровней воды или напоров, соответствующих концам рассматриваемых линий, например в пределах разности напоров $H_{L1}^0 - H_{L2}^0$; $H_{L2}^0 - H_{L3}^0, \dots, H_{Lp}^0 - H_B$. При этом величины T_1, T_2, \dots, T_n определяются с учетом числа одновременно работающих в пределах каждой из выделенных разностей напоров линий и соответствующих им значений Ω и r'_L .

Правильно запроектированный водовыпуск, согласно существующим нормам, должен обеспечить опорожнение рассматриваемой системы трубопроводов не более чем за 2 ч.

Диаметры воздухопускных устройств опоражниваемых линий определяются из необходимости подачи в них воздуха в количестве, равном максимальному расходу воды водовыпуска в целом и каждой линии в отдельности. Для этого используются объемно-балансовые уравнения:

$$\frac{\pi d_B^2}{4} v_{B \max} = \sum_{i=1}^n \frac{\varphi \pi d_{i \text{ВОЗД}}^2}{4} v_{\text{ВОЗД}} \quad (7)$$

и

$$\frac{\xi_i \pi d_B^2}{4} v_{B \max} = \frac{\varphi \pi d_{i \text{ВОЗД}}^2}{4} v_{\text{ВОЗД}}, \quad (8)$$

где $v_{B \max}$ — максимальная скорость истечения воды из водовыпуска; φ — коэффициент скорости воздушного потока воздуховпускного устройства, принимаемый равным 0,9; $v_{\text{ВОЗД}}$ — скорость воздуха в нем — 40–50 м/с; $d_{i \text{ВОЗД}}$ — диаметр воздуховпускных устройств отдельных линий опораживаемой системы трубопроводов; ξ_i — коэффициент, учитывающий долю расхода воды из рассматриваемой линии в общем расходе водовыпуска и определяемый по формуле

$$\xi_i = \frac{d_{\text{ли}}}{l_{\text{ли}}} \sum_{i=1}^n \frac{l_{\text{ли}}}{d_{\text{ли}}}.$$

Из выражений (7) и (8) легко вывести, что требуемые диаметры воздуховпускных устройств опораживаемых линий должны удовлетворять требованиям

$$d_{i \text{ВОЗД}} = d_B \sqrt{\frac{\xi_i}{\varphi} \frac{v_{B \max}}{v_{\text{ВОЗД}}}} \quad \text{и} \quad \sum_{i=1}^n d_{i \text{ВОЗД}}^2 = \frac{d_B^2}{\varphi} \cdot \frac{v_{B \max}}{v_{\text{ВОЗД}}}.$$

Как показывает анализ полученных расчетных зависимостей, на работу водовыпусков и воздуховпускных устройств водопроводных сетей и водоводов, кроме диаметров, уклонов, длин, числа и схемы расположения опорожняемых линий, существенное влияние оказывает и напор водовыпуска H_B . С его увеличением возрастают расход водовыпуска и скорость истечения из него воды, уменьшаются диаметр водовыпуска и время опорожнения водопроводных линий. Поэтому при проектировании водовыпусков необходимо предусматривать возможность создания полного использования этого напора. Однако предельно возможное значение величины H_B из условия обеспечения сплошности потока в водовыпуске должно быть не более

$$H_{B \max} \leq \frac{P_2 - P_1}{\rho g} + \Delta h_B \approx (6 \div 8 \text{ м}) + \tau_B Q_B^2,$$

где p_1 и p_2 — давление соответственно в начале и конце водовыпуска; ρ — плотность воды; g — ускорение силы земного тяготения; Δh — потери напора в водовыпуске; $6 \div 8 \text{ м}$ — предельно допустимая разность напоров между началом и концом водовыпуска, исключая разрыв в нем сплошности потока вследствие возможного образования вакуума.

Кроме того, необходимо предусмотреть мероприятия, обеспечивающие работу водовыпуска полным сечением по всей его длине. Для этого выброс

воды из водовыпуска должен осуществляться под уровень водоприемника. Там, где это невозможно по санитарным соображениям и требуется осуществить разрыв струи в конце водовыпуска, необходимо предусмотреть местный изгиб трубы кверху с подъемом ее оси на величину диаметра водовыпуска.

С помощью этих же расчетных зависимостей легко установить фактическую картину работы проектируемых водовыпусков и правильно наметить параметры воздухопускных устройств для опорожняемых линий. При этом важным моментом является правильное установление времени наступления максимальных расходов и скоростей в водовыпуске в зависимости от условий его работы, а не принятие его в начале опорожнения линий, как это имеет место в настоящее время.

ЛИТЕРАТУРА

1. Справочник проектировщика: Водоснабжение населенных мест и промпредприятий. – М., 1977. – 287 с. 2. Суринов А.А. Выбор схем водоснабжения. – Л., 1927. – 236 с.

УДК 626.88

И.Л.ВОПНЯРСКИЙ, Н.М.ВАРНАКОВ, канд-ты техн.наук,
А.Н.СИДОРОВ, А.В.МОЛОЧКО (БПИ)

РЫБОЗАЩИТНОЕ УСТРОЙСТВО С ИМПУЛЬСНОЙ СТРУЙНОЙ ОЧИСТКОЙ СЕТКИ

Существующие механические рыбозащитные устройства (РЗУ), включающие в виде заграждения металлические сетки различной конфигурации [1–3 и др.], имеют ряд недостатков, связанных в первую очередь с низкой эффективностью применяемых способов очистки сетки.

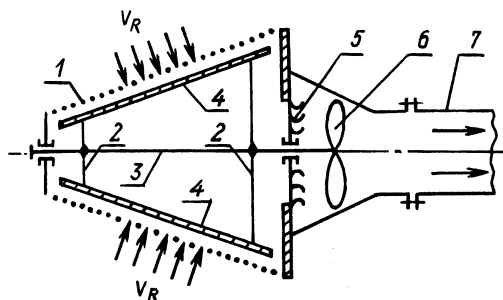


Рис. 1. Принципиальная схема конструкции модели РЗУ.

В предлагаемом РЗУ с помощью специального устройства создается импульсный противоток воды, препятствующий оседанию на сетке молоди рыбы и других плавающих тел. На рис. 1 приведена принципиальная схема конструкции его модели, изготовленной для экспериментальных исследований. Боковая поверхность сетчатого усеченного конуса 1 выполнена из листовой стали с перфорацией (диаметр отверстий 2 мм, отношение площади отверстий к площади сетки – 0,25). Угол при основании образующей равен 45° . Внутри конуса на стойках 2 вала 3 закреплены две наклонные пластины 4 под углом