

## Л и т е р а т у р а

1. Алиев Э.Д., Мариупольский А.Л. Опыт эксплуатации типовых трубчатых сооружений на оросительных системах. — Гидротехника и мелиорация, 1973, № 6. 2. Овчаренко И.Х., Шемякин Ю.К. О некоторых недостатках работы трубчатых сооружений на оросительных каналах. — Научные исследования по гидротехнике в 1973 году. — Л., 1974, т. 1. 3. Беляшевский Н.Н., Пивовар Н.Г., Калантыренко И.И. Расчеты нижнего бьефа за водосбросными сооружениями на нескальных основаниях. — Киев, 1973. 4. Юдицкий Г.А. Учет пульсационных нагрузок при расчете плит водобоя на всплытие. — Изв. ВНИИГ, 1965, т. 77. 5. Юдицкий Г.А., Исаев А.А. О моментах расчетных пульсационных нагрузок, действующих на плиты водобоев водосливных плотин. — Изв. ВНИИГ, 1971, т. 97. 6. Рекомендации по определению гидродинамических нагрузок, воздействующих на плиты водобоев и рисберм водосливных плотин. — Л., 1979. 7. Кильчевский Н.А. Курс теоретической механики. — М., 1977, т. II. 8. Юдицкий Г.А. Пульсация гидродинамической нагрузки на плиты водобоя и рисбермы в условиях пространственной задачи. — Изв. ВНИИГ, 1963, т. 73.

УДК 626/627

В.Д.Керницкий, ст. инж. (ЦНИИКИВР)

### ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА МАТЕМАТИЧЕСКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ СИФОННОГО ВОДОВЫПУСКА С ЗАРЯДНОЙ ТРУБКОЙ

В последние годы все большее внимание уделяется автоматизации водорегулирующих сооружений и систем при значительном территориальном рассредоточении объектов регулирования, на которых целесообразно применение гидравлических средств автоматизации.

Рациональным типом автоматических устройств для забора воды из источников и водорегулирования в каналах являются сифонные регуляторы. Среди них известны и такие, в которых гребень сифона расположен выше уровня воды в источнике (верхнем бьефе). Однако в этих устройствах зарядка сифона производится с помощью дополнительных технических средств, в частности зарядной камеры [1]. В ЦНИИКИВР разработана конструкция водовыпуска с зарядной трубкой [2], обеспечивающая автоматическое регулирование забора воды из источника. Зарядная трубка присоединена к нижней ветви сифона, сообщается с верх-

ним бьефом, заглублена под уровень воды в нем и имеет значительно меньшую площадь поперечного сечения по сравнению с сифоном.

Сущность гидравлических явлений, протекающих при зарядке сифона указанной трубкой, можно охарактеризовать следующим образом. Струя воды, подаваемая по трубке из верхнего бьефа, ударяется о противоположную стенку сифона или "водную подушку" и при этом захватывает и выносит из полости сифона воздух. В результате происходит подъем уровня воды в верхней и нижней ветвях сифона, а через некоторое время  $T_1$  уровень в верхней ветви достигает отметки гребня. Этот момент соответствует завершению первой фазы зарядки сифона. Процесс, протекающий во второй фазе зарядки, связан с захватом и выносом воздуха из полости сифона двумя струями - из зарядной трубки и струей, переливающейся через гребень сифона. Это обуславливает определенную специфику процесса, вызванную взаимодействием обеих струй.

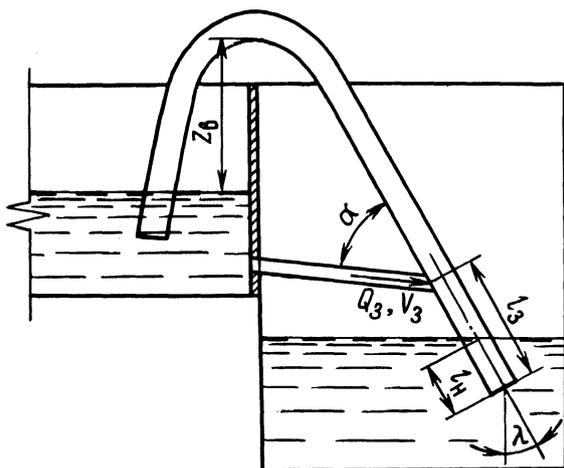


Рис. 1. Схема модели сифонного водовыпуска с зарядной трубкой

Из анализа литературных данных [3, 4] и экспериментальной оценки установлено, что для сифона с постоянным поперечным сечением (рис. 1) продолжительность первой фазы зарядки может быть представлена в виде

$$T_1 = f(V_з, Q_з, l_н, Z_в, \lambda, \alpha, l_с), \quad (1)$$

где  $V_з$  - скорость в выходном сечении зарядной трубки;  $Q_з$  - расход воды через зарядную трубку;  $l_н$  - длина выходного участка, погруженного под уровень нижнего бьефа, определяемая вдоль оси сифонной трубы от уровня воды в нижнем бьефе до

центра выходного сечения сифона;  $Z_B$  – превышение гребня сифона над уровнем воды в верхнем бьефе;  $\lambda$  – угол наклона нижней ветви сифонной трубы к вертикали;  $\alpha$  – угол между зарядной трубкой и сифонной трубой;  $l_3$  – длина участка сифонной трубы от центра выходного сечения зарядной трубки до выходного сечения сифона.

Для установления зависимости  $T_1$  от указанных параметров сифонного водовыпуска были проведены экспериментальные исследования на гидравлической модели (см. рис. 1) с использованием математического планирования эксперимента [5].

Модель сифона с поперечным сечением 15 x 15 см выполнена из оргстекла и металла. Присоединенная к сифону зарядная трубка круглого сечения оснащена сменными вставками, позволяющими изменить ее диаметр от 4 до 10 см, и подключена к отдельному источнику воды. Это дало возможность, сохраняя положение уровня воды в верхнем бьефе сифонного водовыпуска и величину  $l_3$ , изменять скорость зарядной струи при фиксированном расходе  $Q_3$  и, наоборот, при постоянной скорости  $V_3$  обеспечивать различные зарядные расходы.

Каждый из факторов (параметров модели) кодировался [5] и варьировался по данным табл. 1.

В эксперименте была реализована дробная реплика типа  $2^{7-2}$  [5], матрица планирования для которой и результаты опытов приведены в табл. 2.

Наличие той или иной буквы в кодированном обозначении опыта показывает, что соответствующий фактор в данном опыте был установлен на верхней уровне ( $X_i = +1$ ), а остальные – на

Табл. 1. Условия варьирования параметров модели сифонного водовыпуска с зарядной трубкой

Параметры модели	$V_3$ , м/с	$Q_3$ , л/с	$l_H$ , см	$Z_B$ , см	$\lambda$ , град	$\alpha$ , град	$l_3$ , см
Кодированные обозначения	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$
Основной уровень	4,8	12,5	19,5	60	15	60	125
Интервал варьирования	2,3	7,5	10,5	10	15	30	25
Верхний уровень (+1)	7,1	20,0	30	70	30	90	150
Нижний уровень (-1)	2,5	5,0	9	50	0	30	100

Табл. 2. Матрица планирования и результаты эксперимента

Номер опыта	Кодированное обозначение. опыта	T <sub>1</sub> , с			$\bar{y}$
		T <sub>1</sub> <sup>I</sup>	T <sub>1</sub> <sup>II</sup>	T <sub>1</sub> <sup>III</sup>	
1	acfg	29,9	29,8	30,0	33,4
2	fg	31,5	32,0	31,5	31,5
3	abfg	3,8	3,9	4,0	256,5
4	bcfg	7,0	6,5	6,7	148,6
5	abcdg	5,8	5,6	6,0	172,6
6	cdg	91,8	95,5	90,7	10,8
7	bdg	8,7	8,9	8,9	113,2
8	adg	47,4	47,2	47,0	21,2
9	abceg	3,9	4,0	3,9	256,3
10	ceg	78,5	79,2	79,0	12,6
11	beg	5,1	5,2	5,4	191,2
12	aeg	33,6	33,6	33,9	29,7
13	defg	1320,0	1375,0	1300,0	0,8
14	abdefg	6,6	6,7	6,5	151,5
15	acdefg	$\infty$	$\infty$	$\infty$	0
16	bcdefg	12,4	12,2	11,8	82,4
17	bef	7,6	7,7	7,7	130,5
18	abcef	4,7	4,9	4,8	208,4
19	cef	$\infty$	$\infty$	$\infty$	0
20	aef	64,7	63,2	63,3	15,7
21	bcde	24,5	24,8	26,1	39,8
22	de	250,8	262,8	258,2	3,9
23	abde	6,6	6,9	7,0	146,4
24	acde	$\infty$	$\infty$	$\infty$	0
25	(-)	40,9	40,7	40,3	24,6
26	ab	4,2	4,2	4,4	134,5
27	ac	52,7	50,2	52,1	19,4
28	bc	10,3	9,7	10,0	100,1
29	abcdf	7,4	7,4	7,2	136,4
30	cdf	122,4	119,0	116,4	8,4
31	bdf	12,2	12,4	12,6	80,7
32	adf	32,6	31,5	31,4	31,4

нижнем ( $X_i = -1$ ). Причем буквы а, б, с, ..., f соответствуют факторам  $X_1, X_2, X_3, \dots, X_7$ , а условное обозначение (-) указывает на то, что в данном опыте все факторы находились на нижнем уровне [5].

В связи с тем что в некоторых опытах зарядка сифона не осуществилась, т. е. время  $T_1 = \infty$ , для дальнейшей обработки опытных данных исследуемая функция  $T_1$  была преобразована в новую функцию отклика  $Y$  по формуле

$$y = \frac{10^3}{T_1}. \quad (3)$$

Опыты были рандомизированы по таблице случайных чисел и повторены трижды. Полученные результаты обозначены в табл. 2 соответственно  $T_1^I, T_1^{II}, T_1^{III}$ , а значения функции отклика осреднены по трем повторениям и обозначены  $\bar{Y}$ . Воспроизводимость опытов была оценена по критерию Кохрена [6]:

$$G = 0,14 < G_T = 0,19. \quad (4)$$

Поскольку линейная модель процесса оказалась неадекватной, для описания процесса зарядки использовался неполный квадратичный полином вида:

$$\bar{Y} = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i X_i + \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{k=i+1}^n b_{ik} X_i X_k, \quad (5)$$

где  $n$  - количество исследуемых факторов.

Результаты расчета коэффициентов полинома по известным формулам регрессионного анализа [5] приведены в табл. 3. Для уровня значимости  $\beta = 0,05$  (т. е. с вероятностью 95%) коэффициенты  $b_{16}, b_{46}$  являются статистически незначимыми, что позволило исключить их из полинома (5).

Как видно из сравнения абсолютных значений линейных коэффициентов регрессионного полинома, наибольшее влияние на величину  $T_1$  оказывают расход и скорость зарядной струи, превышение гребня сифона над уровнем воды в источнике  $Z_B$  и величины  $I_3$  и  $I_H$ . Менее значительными являются углы наклона  $\lambda$  и  $\alpha$ . Знаки линейных коэффициентов указывают, что возрастание параметров  $V_3, Q_3$ , и  $I_3$  приводит к увеличению функции отклика  $Y$ , а следовательно, к уменьшению времени первой фазы зарядки. Это обусловлено тем, что расход и скорость зарядной струи, а также величина  $I_3$  характеризуют способность струи захватывать и выносить воздух из полости сифона.

Наличие знака (-) и относительно большая абсолютная величина коэффициента  $b_{24}$  с учетом знаков коэффициентов  $b_2$  и  $b_4$  указывают на то, что при одновременном изменении параметров  $Q_3$  и  $Z_B$  последний из них оказывает более значительное влия-

Табл. 3. Коэффициенты регрессионного полинома

Буквенное выражение коэффициента	Значение коэффициента	Буквенное выражение коэффициента	Значение коэффициента
$b_0$	+84,078	$b_{17}$	-2,378
$b_1$	+22,884	$b_{23}$	-2,759
$b_2$	+68,866	$b_{24}$	-15,960
$b_3$	-7,378	$b_{25}$	+2,497
$b_4$	-21,609	$b_{26}$	-1,753
$b_5$	-4,878	$b_{27}$	+8,022
$b_6$	-1,816	$b_{34}$	+1,209
$b_7$	+10,316	$b_{35}$	+2,866
$b_{12}$	+19,247	$b_{36}$	+2,316
$b_{13}$	+3,478	$b_{37}$	+2,322
$b_{14}$	-2,916	$b_{45}$	-4,491
$b_{15}$	-1,334	$b_{56}$	-3,722

ние на величину времени зарядки, поскольку он характеризует объем воздуха, выносимого из полости сифона. Коэффициент  $b_3$ , имеющий относительно большое абсолютное значение и знак (-), указывает на то, что возрастание величины  $l_H$ , определяющей условия выноса воздуха из сифона, приводит к увеличению продолжительности первой фазы зарядки.

Таким образом, полученная модель процесса позволила оценить влияние конструктивных и гидравлических параметров сифонного водовыпуска с зарядной трубкой на величину времени его зарядки.

Для проверки адекватности модели был использован критерий Фишера [5]:

$$F = 1,79 < F_T = 2,14. \quad (6)$$

Выполнение этого условия позволяет с вероятностью 95% (так как величина  $F_T$  взята при  $\beta = 0,05$ ) считать неадекватность неполного квадратичного полинома (5) соизмеримой точностью эксперимента и использовать этот полином в качестве математической модели для расчета времени первой фазы зарядки сифонного водовыпуска.

## Л и т е р а т у р а

1. А. с. № 380786 (СССР). Сифонный водовыпуск / Журавлев Г.И., Касицин В.С. - Бюл. изобр., 1973, № 21.
2. Альферович А.Н. Водовыпускное устройство: А. с. № 696095 (СССР). - Бюл. изобр., 1979, № 41.
3. Каранфилян А.А. К определению времени включения сифонного водосброса. - В сб.: Вопросы гидротехники и гидравлики. Киев, 1969, вып. 34.
4. Хуторов Н.С. Расчет напора и времени включения сифонов. - Сб. науч. тр. ВНИИГиМ. - М., 1975, вып. 2.
5. Адлер Ю.П. Введение в планирование эксперимента. - М., 1969.
6. Вознесенский В.А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях. - М., 1974.

УДК 626.823.54

С.П.Гатилло, асп.,  
И.В.Филиппович, канд. техн. наук, доц. (БПИ)

### ПРИМЕНЕНИЕ ТОНКИХ ВОДОСЛИВНЫХ СТЕНОК НА ТРУБЧАТЫХ ВОДОСБРОСНЫХ СООРУЖЕНИЯХ

Требования охраны природы не допускают чрезмерного уменьшения расходов воды в водотоках, направлены на сведение к минимуму потерь воды и степени ее загрязнения. В водотоках осушительно-увлажнительных систем необходимы поддержание требуемого уровня режима в межень и обеспечение пропуска по ним весенних и летне-осенних максимумов без затопления используемых в сельском хозяйстве земель.

Поддержанию в водотоках и в мелиоративных каналах уровней воды, необходимых по условиям охраны природы и влагообеспечения сельскохозяйственных угодий, противопожарной защиты торфяных почв, способствует применение перед или за трубчатыми водопропускными сооружениями простейших подпорных устройств типа невысокой тонкой стенки.

Постановка стенок с оптимальной длиной водосливного фронта потребует уширения канала перед водосбросом или в нижнем бьефе. По техническим и эксплуатационным условиям уширение канала выгодно производить в верхнем бьефе, с тем чтобы не удлинять в нижнем бьефе участок канала, требующий дополнительного закрепления против размыва переливающимся поверх стенки потоком.

Постановка стенки перед входом в трубчатый водосброс целесообразна и по той причине, что при создании незначительно-