

Е.З. Арифуллин, А.В. Калач

(ФГБОУ ВО Воронежский государственный технический университет;

e-mail: arif-vrn@mail.ru)

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДА РАНЖИРОВАНИЯ ТЕРРИТОРИИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ МАЛОГО ВОДОЗАБОРА

Предложен метод ранжирования территории Воронежской области по уровню потенциальной опасности прудов и водохранилищ для обеспечения безопасности малого водозабора.

Ключевые слова: метод ранжирования, безопасность малого водозабора.

E.Z. Arifullin, A.V. Kalach

RANGING METHOD EFFICIENCY EVALUATION FOR ENSURE SAFETY OF THE SMALL WATER INTAKE

The method of ranking the territory of the Voronezh region, in terms of the potential dangers of ponds and reservoirs to ensure safety for small water intake was proposed.

Key words: ranging method, safety management of small water intake.

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 2 февраля 2017 г.

В России ежегодно происходят наводнения. Сохраняется вероятность подтопления населённых пунктов, жилых районов городов тальми и сточными водами. Не исключением является и Воронежская область, где эксплуатируются более 2,5 тыс. гидротехнических сооружений (малые водозаборы), а возможные зоны затопления могут иметь площадь до 26 тыс. км² (50 % территории области). Всё это обуславливает необходимость оценки вероятностей возможных аварий, методов прогнозирования последствий разрушений объектов и организации гуманитарного обеспечения пострадавшего населения.

Проблема управления гидрологической обстановкой местности является достаточно актуальной, поскольку сохраняется опасность гидродинамических аварий [2, 3].

Авторами анализируются результаты мониторинга безопасности *гидротехнических сооружений (ГТС)* водохозяйственного комплекса, на примере Воронежской области. Оценено состояние ГТС, значительную часть их составляли малые водозаборы, водонапорные сооружения малых и средних водохранилищ (рис. 1).

Установлено что, в Верхнехавском, Лискинском, Новоусманском и Семилукском районах аварийными объектами являлись 8 прудов и 1 земляная плотина.

Главной причиной аварийных ситуаций на данных объектах были отказы работы самих гидроузлов, которые в значительной степени находилась в предаварийном состоянии.

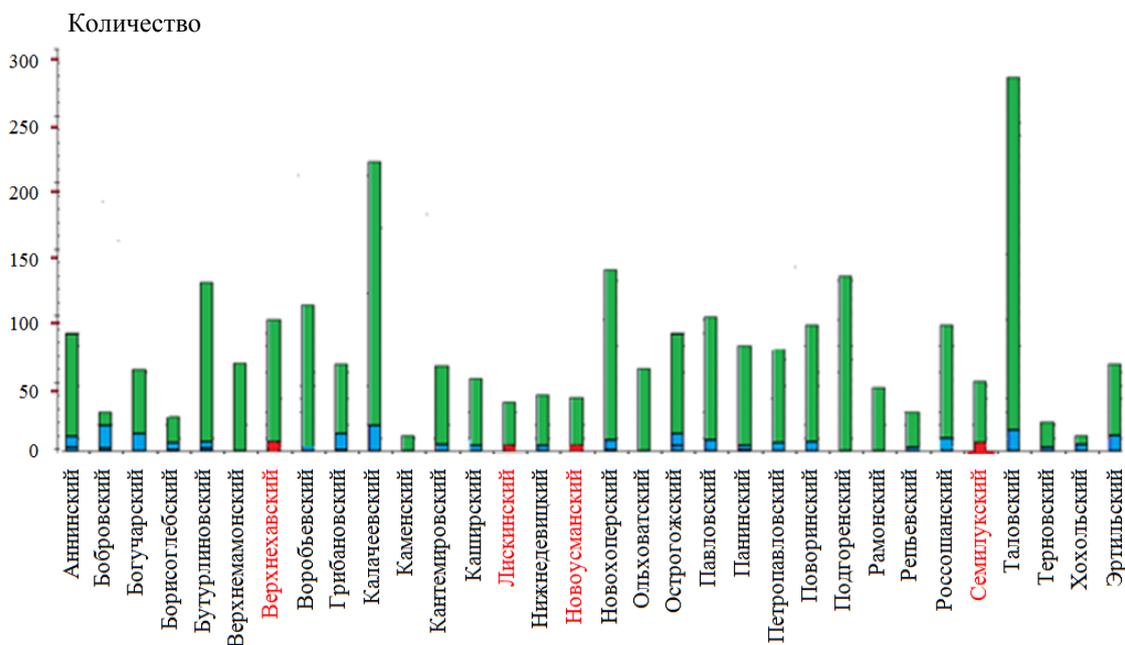


Рис. 1. Количество малых водозаборов в административных районах Воронежской области

Для оценки риска и мониторинга безопасности водных объектов предложен метод их ранжирования *по степени потенциальной опасности* K_0 для населения и территорий, в случае прорыва малых водозаборов, по 4-м и 28-ми районам региона. K_0 определялась отношением общего объема $V_{ГТС}$ прудов и водохранилищ на территории данных районов к площади района $S_{терр}$ потенциального затопления ($K_0 = V_{ГТС} / S_{терр}$). Количество пострадавшего населения на затопленной территории $R_{зат.}$ определялось произведениями вероятности аварийного состояния напорного сооружения $P_{ГТС}$, площади на $S_{терр}$ и плотности населения, проживающего в районе $\rho_{нас}$ (табл. 1, 2).

Чем больше K_0 , тем выше угроза возникновения аварий и тем ниже безопасность ГТС.

Установлено, что аварии могут возникать на гидротехнических сооружениях четырёх районов в Верхнехавском, Новоусманском, а для 28-ми ГТС в Эртильском Таловском, Каменском, Панинском, Поворинском, Новохоперском для них установлены самые высокие коэффициенты K_0 . Выбор данных районов обусловлен высокой плотностью их заселения.

Выявлено, что в двадцати восьми районах количество аварийных земляных плотин – 70, количество аварийных прудов – 108, количество аварийных водозаборов – 52.

Таблица 1

**Результаты диагностики состояния ГТС по степени потенциальной опасности
в 4-х административных районах Воронежской области, несущих угрозу затоплению**

Административный район	$S_{\text{терр}}$, тыс. км ²	Полезный объём ГТС V , млн м ³	V/S , тыс. м ³ /км ²	K_0 , м	$R_{\text{зат}}$, чел.
Верхнехавский	1,3	29	29000 / 1300	22,31	3645
Новоусманский	1,5	22	22000 / 1500	14,67	12485
Семилукский	1,6	15	15000 / 1600	9,38	4855
Лискинский	2,0	11	11000 / 2000	5,5	23188

Таблица 2

**Результаты диагностики состояния ГТС по степени потенциальной опасности
в 28 административных районах Воронежской области, несущих угрозу затоплению**

Административный район	$S_{\text{терр}}$, тыс. км ²	Полезный объём ГТС V , млн м ³	V/S , тыс. м ³ /км ²	K_0 , м	$R_{\text{зат}}$, чел.
Эртильский	1,5	44	44000 / 1500	29,33	4002
Таловский	1,9	51	51000 / 1900	26,84	8475
Каменский	1	25	25000 / 1000	25,0	2122
Панинский	1,4	35	35000 / 1400	25,0	4180
Поворинский	1,1	27	27000 / 1100	24,55	4074
Новохоперский	1,3	31	31000 / 1300	23,85	5677
Аннинский	2,1	40	40000 / 2100	19,05	9672
Бутурлиновский	1,8	30	30000 / 1800	16,67	9676
Репьевский	0,9	15	15000 / 900	16,67	1613
Грибановский	2	33	33000/2000	16,5	7007
Терновский	1,4	22	22000 / 1400	15,71	3105
Воробьевский	1,2	14	14000 / 1200	11,67	2267
Каширский	1	11	11000 / 1000	11,0	2753
Бобровский	2,3	23	23000/ 2300	10,0	13267
Верхнемамонский	1,3	8	8000 /1300	6,15	2880
Калачеевский	2,1	12	12000 / 2100	5,71	12718
Петропавловский	1,6	8	8000 / 1600	5,0	3248
Богучарский	2,2	10	10000 / 2200	4,55	8933
Хохольский	1,5	6	6000 / 1500	4,0	5082
Подгоренский	1,6	6	6000 / 1600	3,75	4560
Россошанский	2,4	9	9000 / 2400	3,75	25482
Павловский	1,9	7	7000 / 1900	3,68	12099
Ольховатский	1	3,5	3500 / 1000	3,5	2638
Рамонский	1,3	4	4000 / 1300	3,08	4862
Нижнедевицкий	1,2	8	8000 / 1200	2,6	2557
Острогожский	1,7	4	4000 / 1700	2,35	14356
Борисоглебский	1,4	3	3000 / 1400	2,14	11930
Кантемировский	2,3	3	3000 / 2300	1,3	11486

Результаты расчётов

Представленные результаты для проведения диагностики состояния предаварийных объектов проводились на примере 13 административных районов Воронежской области. Оценена математическая вероятность перехода в аварийное состояние 28 напорных сооружений, в том числе: 12 аварийных земляных плотин, 9 паводковых аварийных водосбросов, 7 аварийных водоспусков.

Рассчитаны вероятности перехода в аварийное состояние объекта ($P_{ГТС}$) за определенный отрезок времени с интенсивностью отказов $\lambda(t)$ по выражению:

$$\lambda(t) = n(\Delta t)/(N_{cp} \Delta t),$$

где $\lambda(t)$ – интенсивность отказов напорных сооружений;

$n(\Delta t)$ – число отказов сооружений за определенный промежуток времени;

$N_{cp} = (N_i + N_{i+1})/2$ – среднее число исправных сооружений рассматриваемого вида в интервале Δt ;

N_i – количество напорных сооружений, исправно функционирующих в начале интервала Δt ;

N_{i+1} – количество сооружений водозабора, исправно функционирующих в конце интервала Δt .

Для итогового практического расчёта вероятности отказа каждого из видов напорных сооружений использована формула Пуассона [1]:

$$P_m = P \cdot (X = m) \approx \frac{\lambda^m \cdot e^{-\lambda}}{m!},$$

где λ – интенсивность отказов рассматриваемого вида напорных сооружений;

m – число отказов реального напорного сооружения.

Следовательно, для определения вероятности отказа одного конкретного напорного сооружения рассматриваемого вида ($m = 1$)

$$P = \lambda \cdot e^{-\lambda}.$$

Определена надёжность работы малых водозаборов, расположенных по соответствующим районам области, рассчитано среднее число исправных сооружений рассматриваемого вида N_{cp} в интервале Δt :

$$N_{cp} = (N_i + N_{i+1})/2 = 14;$$

$$\lambda(t) = n(\Delta t)/(N_{cp} \Delta t) = 0,13.$$

Рассчитана статистическая интенсивность отказов по данным районам, где располагаются гидротехнические сооружения $\lambda(t) = 1,3 \cdot 10^{-1}$ (1/год).

Вероятность перехода в аварийное состояние малого водозабора как единого целого $P_{ГТС} = \lambda \cdot e^{-\lambda} = 0,114$.

Рассчитана вероятность $P_{МВ}$ для отдельных малых водозаборов: земляной плотины, паводковых аварийных водосбросов, аварийных водоспусков (табл. 3).

Вероятности (P) аварий малых водозаборов

Земляные плотины	Паводковые аварийные водосбросы	Аварийные водоспуски
$N_{cp} = (28 + (28 - 12)) / 2 = 22$	$N_{cp} = (28 + (28 - 9)) / 2 = 23,5$	$N_{cp} = (28 + (28 - 7)) / 2 = 24,5$
$\lambda(t) = 12 / (22 \cdot 15) = 0,036$	$\lambda(t) = 9 / (23,5 \cdot 15) = 0,026$	$\lambda(t) = 7 / (24,5 \cdot 15) = 0,019$
$P_{з.п.} = 0,036 \cdot e^{-0,036} = 0,034$	$P_{п.в.} = 0,025 \cdot e^{-0,025} = 0,024$	$P_{а.в.} = 0,019 \cdot e^{-0,019} = 0,018$

где $P_{з.п.}$ – вероятность для земляных плотин;
 $P_{п.в.}$ – вероятность для паводковых аварийных водосбросов;
 $P_{а.в.}$ – вероятность для аварийных водоспусков

Вывод

На основании результатов математических расчётов фактического состояния объектов по отдельным районам установлено, что причинами аварий, возникающих на данных объектах, является техническое состояние плотин и их переполнение водой на момент начала половодья [4].

Проведена оценка риска водных объектов, учитывающая показатели вероятности перехода в предаварийное и аварийное состояние.

Полученные результаты диагностики методом ранжирования на территории Воронежской области выявили опасное аварийное состояние малых водозаборов по 32 районам региона.

Литература

1. Акимов В. А. Лапин В. Л., Попов В. М. Надёжность технических систем и техногенный риск. М.: ЗАО ФИД "Деловой экспресс", 2002. 368 с.
2. Арифиллин Е. З., Федянин В. И. Мониторинг безопасности гидротехнических сооружений по Воронежской области // Матер. междунар. науч.-практ. конф. Воронеж: Научная книга, ВИВТ, 2008. С. 15-19.
3. Арифиллин Е. З., Калач А. В. Общая характеристика гидротехнических сооружений и основных поражающих факторов гидродинамической аварии // Матер. всерос. науч.-практ. конф. Воронеж: ВИ ГПС МЧС России, 2013. С. 214-216.
4. Арифиллин Е. З. Мониторинг малых водозаборов // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2014. Т.10. № 5.1. С. 61-64.

References

1. Akimov V. A. Lapin V. L., Popov V. M. Nadjozhnost' tehniceskikh sistem i tehnogenyj risk (Reliability of technical systems and technogenic risk). M.: ZAO FID "Delovoj jekspress", 2002. 368 p.
2. Arifullin E. Z., Fedjanin V. I. Monitoring bezopasnosti gidrotehniceskikh sooruzhenij po Voronezhskoj oblasti (Monitoring of safety of hydraulic facilities in the Voronezh region) // Mater. mezhhdunar. nauch.-prakt. konf. Voronezh: Nauchnaja kniga, VIVT, 2008. Pp. 15-19.
3. Arifullin E. Z., Kalach A. V. Obshhaja harakteristika gidrotehniceskikh sooruzhenij i osnovnyh porazhajushhih faktorov gidrodinamicheskoi avarii (General characteristics of hydraulic structures and the main factors affecting the hydrodynamic accidents) // Mater. vseros. nauch.-prakt. konf. Voronezh: VI GPS MChS Rossii, 2013. Pp. 214-216.
4. Arifullin E. Z. Monitoring malyh vodozaborov (Monitoring of small water intakes) // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tehniceskogo universiteta. 2014. T.10. № 5.1. Pp. 61-64.