

НАДЕЖНОСТЬ КОЛЛЕКТОРНО-ДРЕНАЖНОЙ СЕТИ, РАБОТАЮЩЕЙ ДЛИТЕЛЬНОЕ ВРЕМЯ

Я.И. Рустамов

(Научно-производственное объединение гидротехники и мелиорации Азербайджана,
г. Баку, Азербайджанская Республика)

Keywords: reliability, theory of probability, mathematical statistics, collector - drainage network, reliability indicators, measure.

Summary: The article describes the method of determination of the reliability of acting collector-drainage networks. On the basis of the research, conducted using mathematical statistics and theory of probability, the reliability of the collector - drainage network installed in the Salyan Steppe of Azerbaijan is ascertained. At the moment, the reliability of the collector-drainage collector is 0,58; the elements vary from 0,80 and 0,88. That is why operating collector-drainage networks can not fulfill their functions, including the salinity control of irrigated lands. As a result of this, lands are exposed to repeated salinization and waterlogging. Consequently, it is required to reinstall the collector-drainage networks and replace them by more contemporary systems.

Более 80 % сельскохозяйственной продукции в Азербайджане производится на орошаемых землях, общая площадь которых составляет 1,46 тыс. га. Для борьбы с засолением орошаемых земель на площади 607 тыс. га построены коллекторно-дренажные сети, открытого и закрытого типа [1]. По данным НПО гидротехники и мелиорации Азербайджана, Института почвоведения и агрохимии Национальной академии наук Азербайджана и Комитета землеустройства и картографии Азербайджана, 1,11 млн га орошаемых земель в той или иной степени подвержены засолению и осолонцеванию [1, 2]. В результате этого урожайность сельскохозяйственных культур снижалась в значительной степени. Например; фактическая урожайность культур, выращенных на засоленных землях, в 2–3 раза меньше по сравнению с незасоленными. Подобная картина наблюдается на землях, охваченных коллекторно-дренажной сетью (КДС), поэтому вопрос установления и оценки надежности действующих КДС с целью дальнейшего повышения их эффективности является весьма актуальным.

Согласно теории надежности для установления и оценки надежности систем или сооружений требуется полная информация и знания о конструкции, принципе работы, условиях и правилах их эксплуатации. После чего устанавливаются основные и второстепенные элементы, взаимовлияние и взаимодействие этих элементов, а также причины их отказа и его последствия. В зависимости от принципа работы системы или сооружения составляющие их элементы могут быть приняты в отдельности как «система», так и «элемент».

Коллекторно-дренажная сеть, построенная на орошаемых землях, состоит из последовательно соединенных между собой первичных дрен, собирателя, коллектора и водоема. Согласно принципу работы КДС три элемента, входящие в сеть (собиратель, коллектор и водоем), могут быть приняты в качестве основных, а первичные дрены – второстепенных элементов и в то же время как «система». Дело в том, что водоем обеспечивает работу коллектору, коллектор – собирателю, а собиратель – первичным дренам. Последние служат для регулирования уровня грунтовых вод и создания солевого, воздушного, температурного и пищевого режимов почв. Следует отметить, что для безотказной работы первичных дрен гидравлический расчет собирателя производится по стоку первичных дрен, а коллектора – по стоку собирателей. Расчет водоема не производится, так как его функция заключается в приеме сбросных вод, стекающих по коллектору.

Из изложенного видно, что основные элементы КДС призваны обеспечивать безотказную работу второстепенных элементов. При отказе одного из основных элементов прекращается работа первичных дрен. Бездействие их приводит к подъему уровня грунтовых вод, вторичному засолению земель и в конечном счете к падению плодородия почв.

Для установления надежности КДС следует выбрать основной показатель, характеризующий их безотказную работу. Такой показатель – дренажный сток или расход воды, который формируется за счет действующего напора над дренажной и разностью между уровнем воды в пересечениях дрена с собирателем, собирателя – с коллектором и коллектора – с водоемом. На рисунке 1 схематически показана последовательность соединения элементов, составляющих КДС.

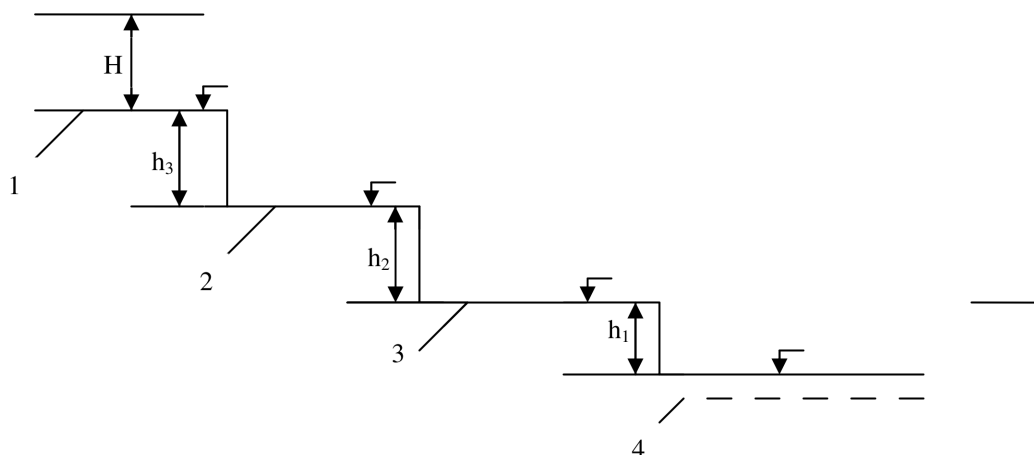


Рис. 1. Схема соединения элементов КДС

1 – первичные дренажи; 2 – собиратель; 3 – коллектор; 4 – водоем; Н – рабочий напор между дренажами; h_1, h_2, h_3 – соответственно разности уровней воды в пересечениях элементов

Принцип соединения элементов позволяет составить блок-схему, представленную на рисунке 2.

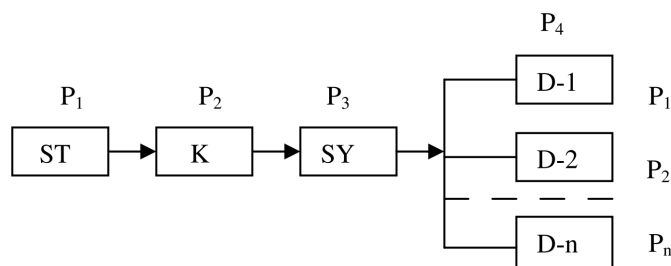


Рис. 2. Блок-схема расположения признаков надежности

Согласно блок-схеме общую модель надежности можно представить в виде [3]:

$$P = \prod_{k=1}^m P_k \left[1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_i) \right], \quad (1)$$

где m – количество признаков; k – номера признаков первого порядка; P_k – вероятность надежности основных элементов; P_i – вероятность надежности второстепенных элементов; n – номера признака второго порядка.

Вероятность надежности одноименных элементов определяется с помощью интеграла вероятности [4]:

$$P_{k,i} = \Phi(t_{\max}) - \Phi(t_{\min}); \quad (2)$$

$$t_{\max} = \frac{x_{\max} - x_0}{\sigma}; \quad t_{\min} = \frac{x_{\min} - x_0}{\sigma},$$

где $x_{\min}, x_{\max}$ – верхняя и нижняя границы выбранного ряда признаков (показателей); x_0 – среднее значение показателя или математическое ожидание признака; σ – среднеквадратическое отклонение.

Согласно общей модели надежности и блок-схеме расположения признаков надежность КДС будет вычислена по формуле:

$$P = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 [1 - (1 - P_4)^2] \quad (3)$$

где P_1 , P_2 и P_3 – вероятность надежности работы водоёма, коллектора и собирателя; P_4 – вероятность надежности работы первичных дрен.

Для определения величин, входящих в формулу (3), использованы конкретные опытные данные, полученные в результате исследований, проведенных в Сальянской степи. Опытные данные подвергали статистической обработке и по каждому ряду признаков устанавливали аргументы $t_{\min}$ и $t_{\max}$ интегральной функции $\Phi(t)$. По специальной таблице [5] установлено значение интегральной функции $\Phi(t)$ и вычислена вероятность надежности элементов по формуле (2), затем надежность КДС – по зависимости (3).

КДС, расположенная в Сальянской степи, содержит открытую объединенную дренажную сеть, состоящую из центрального коллектора, собирателя и первичных дрен с междренним расстоянием от 200 до 800 м. Центральный коллектор впадает в Главный Мугано-Мильский коллектор (ГММК). Поэтому в качестве водоема принят ГММК. Первичные открытые дренажи глубиной 3–3,5 м Д-11 и Д-12 впадают в открытый собиратель АС-2. В пересечениях (в устьевых частях) элементов установили измерительные рейки и 15–20 числа каждого месяца проводили наблюдения за подъемом и спадом уровня воды. Между открытыми дренами Д-11 и Д-12 заложены наблюдательные скважины и по ним установлено изменение напора в средней части между дренами. Разность между уровнями воды в элементах отсчитывалась от нулевого показания измерительной рейки. Падение уровня воды от показания «0» рейки принято со знаком «+», а подъем – со знаком «–» с учетом того, что при подъеме уровня воды от «0» происходит подпор. Рабочий напор над дренами рассчитан по разности глубины заложения дрен (h_d) и уровня грунтовых вод (h_s) по зависимости $H = h_d - h_s$.

Результаты наблюдений, проведенных в 2010 г., отражены в таблице 1. По фактическим данным определено среднее значение признаков, т.е. разность между уровнями воды в элементах и рабочим напором над дренами [6]:

$$x_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (4)$$

где $x_i = h_i$ и $x_i = H_i$ – соответственно значение разности между уровнями воды в элементах и действующим напором над дренами; n – количество чисел в ряду.

Таблица 1

Разность уровней, рабочий напор и исходные статистические данные, м

Ме- сяц или ряд	Водоем-коллектор			Коллектор-собиратель			Собиратель-дрены			Дрены			
	n	h ₁	h ₁ -h ₀	(h ₁ -h ₀) ²	h ₂	h ₂ -h ₀	(h ₂ -h ₀) ²	h ₃	h ₃ -h ₀	(h ₃ -h ₀) ²	H	H-H ₀	(H-H ₀) ²
1		2,60	2,07	4,28	0,25	0,19	0,04	0,29	0,17	0,03	0,22	-1,07	1,14
2		2,55	2,02	4,08	0,30	0,24	0,06	0,30	0,18	0,03	0,45	0,71	0,71
3		1,20	0,67	0,45	0,22	0,16	0,03	0,21	0,09	0,01	0,50	0,62	0,62
4		-0,80	-1,33	1,77	0,15	0,09	0,01	0,15	0,04	0	1,80	0,26	0,26
5		-1,12	-1,65	2,72	-0,04	-0,10	0,01	0,05	0,07	0	2,50	1,46	1,46
6		-1,35	-1,88	3,53	-0,15	-0,21	0,04	0	-0,12	0,01	2,90	2,59	2,59
7		-1,06	-1,59	1,28	-0,13	-0,19	0,03	0,05	-0,07	0,01	1,70	0,17	0,17
8		-0,60	-1,13	1,28	-0,13	-0,19	0,03	0,05	-0,07	0,01	1,70	0,17	0,17
9		-0,08	-0,61	0,37	-0,07	-0,13	0,02	0,07	-0,05	0	1,40	0,01	0,01
10		1,50	1,03	1,06	0,13	0,07	0	0,10	-0,02	0	1,10	0,04	0,04
11		2,10	1,57	2,46	0,10	0,04	0	0,12	0	0	0,40	0,79	0,79
12		1,44	0,91	0,83	0,15	0,09	0,01	0,18	0,06	0	0,35	0,88	0,88
		6,38	25,36		0,77	0,29		1,42	0,10		15,42	9,33	
		h ₀ = 0,53	σ = 1,51		h ₀ = 0,06	σ = 0,16		h ₀ = 0,12	σ = 0,09		H ₀ = 1,29	σ = 0,92	

Среднеквадратическое отклонение вычислено по формуле [5]

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x_o)^2}{n-1}} \quad (5)$$

Результаты расчета приведены в таблице 1. Нижняя граница признака $x_{\min} = h_{\min}$ и верхняя – $x_{\max} = h_{\max}$ приняты по данным таблицы 1.

По статистическим показателям и фактическим данным установлена надежность коллекторно-дренажной сети, действующей в Сальянской степи (табл.2).

Таблица 2

Показатели надежности и статистические характеристики КДС

№ п/п	Элемент	Среднее значение показателя	Средне квадратическое отклонение	Пределы показателя низкие		Значение аргумента интегральной функции		Вероятность надёжности элемента
		x_0	σ	$x_{\min}$	$x_{\max}$	t_1	t_2	p_i
1	Водоем	0,53	1,51	-1,35	2,60	-1,25	1,37	0,80
2	Коллектор	0,06	0,16	-0,15	0,30	-1,31	1,50	0,84
3	Собиратель	0,12	0,09	0	0,30	-1,33	2,00	0,88
4	Первичные дрены	1,29	0,92	0,22	2,90	-1,16	1,75	0,85

Надежность сети $P = 0,80 \cdot 0,84 \cdot 0,88 \cdot [1 - (1 - 0,84)^2] = 0,58$.

Как видим, надежность КДС крайне низкая. Для борьбы с засолением орошаемых земель показатель надежности должен быть в пределах 0,85–0,90. Анализ работы сети показывает, что падение надежности существующей КДС связано с многими хозяйственно-природными факторами.

Во первых, в связи с водностью года и подъемом уровня Каспийского моря ГММК, который функционирует в качестве водоема, работает в подпертом состоянии с отклонением от проектных параметров. Во-вторых, открытые дрены, собиратели и коллектор построены 40–50 лет тому назад (в середине прошлого столетия), поэтому их русла и откосы подвергались водной эрозии, заросли растениями, потеряли исходную форму и размеры. В-третьих, при проектировании, строительстве и эксплуатации допущены неточности, например, сеть рассчитана на не полную нагрузку, не учтена водность года, неточно определены фильтрационные параметры почвогрунтов, поэтому расстояние между дренами колеблется от 200 до 800 м.

Надежность коллекторно-дренажной сети, действующей в Сальянской степи, крайне низкая и составляет 0,58, в то же время надежность основных элементов не 0,80–0,88, поэтому на фоне КДС происходит засоление земель и заболачивание территории. Для повышения надежности и эффективности существующей КДС необходимо очистить русла и придать им устойчивую форму. Лучше всего перейти к закрытой системе с использованием современной конструкции дренажных сооружений.

Литература

1. Ахмедзаде А.Д., Гашимов А.Д. Кадастр мелиоративных и водохозяйственных систем. Баку: Элм, 2006. 272 с.
2. Бабаев М.П., Гасанов В.Г., Бабаев И.М. Деграция почвенного покрова Азербайджанской Республики // Научное обеспечение земельных реформ АР: материалы Республ. конф. Баку: Элм, 2002. С. 16–25.
3. Вентцель Е.С. Теория вероятности. М.: Наука, 1969. 576 с.
4. Методы обработки гидрогеологической информации с вариантами задачи / И.К. Гавич [и др.]. М.: Высш. шк., 1981. 160 с.
5. Козлов Б., Ушаков И.А. Справочник по расчету надежности. М.: Сов. радио, 1975. 472 с.
6. Практикум по общей и сельскохозяйственной статистике / И.Д. Политова [и др.]. М.: Колос, 1967. 512 с.