

УДК 338

*В.К. Чертыковцев, В.Н. Морозов****ЭКОНОМИЧЕСКИЕ РИСКИ И НАДЕЖНОСТЬ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

В статье рассматривается вопрос взаимосвязи экономических рисков и надежности гидротехнических систем. Представлена методика расчета экономических рисков на базе надежности элементов системы регулирования перемещения подъемно-опускных ворот судоходного шлюза г. Балаково.

Ключевые слова: риск, надежность, вероятность, система.

Создание и эксплуатация высокоэффективных гидротехнических систем связаны с развитием конструктивных решений, обеспечением их надежности в эксплуатации и уменьшением стоимости их создания.

В условиях рыночной экономики повысились требования к срокам выполнения проектных и производственных работ и эффективности инвестиций.

Судоходный шлюз – сложное гидротехническое сооружение. Многие из них построены еще в прошлом веке, эксплуатируются на протяжении десятков лет и давно технически и морально устарели. Несовершенная и ненадежная релейная логика управления не позволяет достичь требуемых скорости и точности позиционирования ворот шлюза. В данной статье представлена методика расчета экономических рисков на базе надежности элементов системы регулирования перемещения подъемно-опускных ворот судоходного шлюза в г. Балаково (рис. 1).



Рис. 1. Внешний вид на шлюзы

«Надежность системы» и «экономические риски» – взаимосвязанные понятия [1].

Недостаточная надежность системы приводит к огромным затратам на ремонт, простоям машин, прекращению снабжения населения транспортными средствами, невыполнению ответственных задач, иногда к авариям, связанным с большими экономическими потерями и с человеческими жертвами. Чем меньше надежность машин, тем большее количество их приходится изготавливать, что ведет к перерасходу металла, росту производственных мощностей, завышению расходов на ремонт и эксплуатацию.

Надежность системы и риски, обусловленные отказами системы, представляют полную группу несовместных событий, что можно записать в виде [7]

$$P(t) + F(t) = 1, 0, \quad (1)$$

где $P(t)$ – вероятность безотказной работы системы;

$F(t)$ – вероятность возникновения отказа системы.

Вероятность безотказной работы находится как

$$P(t) = 1 - n(t)/N. \quad (2)$$

где N – число объектов, работоспособных в начальный момент времени;

$n(t)$ – число объектов, отказавших на момент t от начала испытаний или эксплуатации.

* © Чертыковцев В.К., Морозов В.Н., 2018

Чертыковцев Валерий Кириллович (vkchert@go.ru), доктор технических наук, профессор, профессор кафедры общего и стратегического менеджмента, Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, 443086, Российская Федерация, г. Самара, Московское шоссе, 34.

Морозов Виктор Николаевич (kafeson@mail.ru), кандидат технических наук, генеральный директор ООО «Техтрансстрой», 443051, Российская Федерация, г. Самара, ул. Гвардейская, 12.

Вероятность безотказной работы уменьшается с увеличением времени работы или наработки объекта. Зависимости вероятности безотказной работы $P(t)$ и вероятности отказа $F(t)$ от наработки t представлены на рис. 2.

В начальный момент времени для работоспособного объекта вероятность его безотказной работы равна единице (100 %). По мере работы объекта эта вероятность снижается и стремится к нулю. Вероятность возникновения отказа объекта, наоборот, возрастает с увеличением срока эксплуатации или наработки.

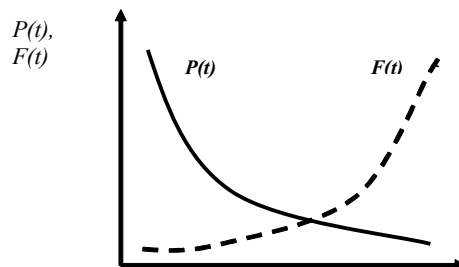


Рис. 2. Зависимости вероятности безотказной работы и вероятности отказа системы

Те изменения, которые происходят с течением времени в любой технической системе и приводят к потере ее работоспособности, связаны с внешними и внутренними воздействиями, которым она подвергается. В процессе эксплуатации шлюза на систему управления воротами действует огромное количество всевозможных факторов [3–5]:

- параметры окружающей среды (температура, влажность, ветровое давление, гидравлическое давление воды);
- коррозия металла;
- старение и разрушение элементов системы;
- столкновение судна с воротами;
- внутренние источники энергии, связанные как с рабочими процессами, протекающими в технической системе, так и с работой отдельных элементов системы;
- ошибочные действия оператора и т. д.

Эксплуатационная надежность определяется различного рода отказами в работе системы.

Отказы могут быть вызваны **объективными** и **субъективными** причинами.

Отказы, вызванные **объективными факторами**, можно классифицировать по различным признакам.

1. Отказы вследствие внешних воздействий:

- Физические воздействия (механические; гидравлические; тепловые, связанные с влекаемыми потоком наносами и мусором, и другие);
- Климатические воздействия (температура, влажность, осадки, ледотермика);
- Биологические воздействия (обрастание оборудования, бактериальная коррозия);
- Химические воздействия (агрессивность воды, осадков и пр.);

2. Отказы вследствие внутренних процессов (протекающих в элементах конструкций и оборудования):

- Быстро протекающие процессы (например, вибрации элементов затворов);
- Процессы средней скорости, протекающие за время непрерывного цикла работы оборудования (например, изменение температуры подвижных элементов затворов);
- Медленно протекающие процессы, происходящие в течение всего срока службы затвора (износ трущихся поверхностей, старение и усталость материалов, коррозионный, кавитационный или абразивный износ).

Субъективные факторы играют решающую роль на стадии проектирования, при изготовлении и монтаже оборудования, а также в процессе управления человеком системой.

На **стадии эксплуатации** на надежность работы подъемно-опускных ворот шлюзов влияют в равной степени как объективные, так и субъективные факторы.

На рис. 3 представлена принципиальная схема системы регулирования перемещения подъемно-опускных ворот шлюзов, которая состоит из следующих элементов:

- ОР – Объект регулирования (подъемно-опускные ворота шлюза);
- ИО1, ИО2 – исполнительный орган (поршневой гидроцилиндр);
- Р1, Р3 – дроссельный регулятор с пропорциональным управлением;
- ИЭ1, ИЭ2 – инерционное звено (гидравлическая линия высокого давления);
- Р2, Р4 – объемный насос с частотным управлением.
- ИП1, ИП2 – измерительно-преобразовательный элемент (обратная связь системы);
- Д – элемент сравнения;
- АСУ – автоматизированная система управления;
- W1 – возмущающие воздействия (гидродинамическое, ветровое, триботехническое);

W_2, W_3 – возмущающие воздействия из-за изменения упругости жидкости;
 X_1, X_2, X_3, X_4 – пред... Значения регулируемой величины;
 $U_в$ – входная регулируемая величина;
 U_1-U_7 – промежуточные значения регулируемой величины;
 $\Delta U = U_4-U_8$ – рассогласование регулируемой величины.

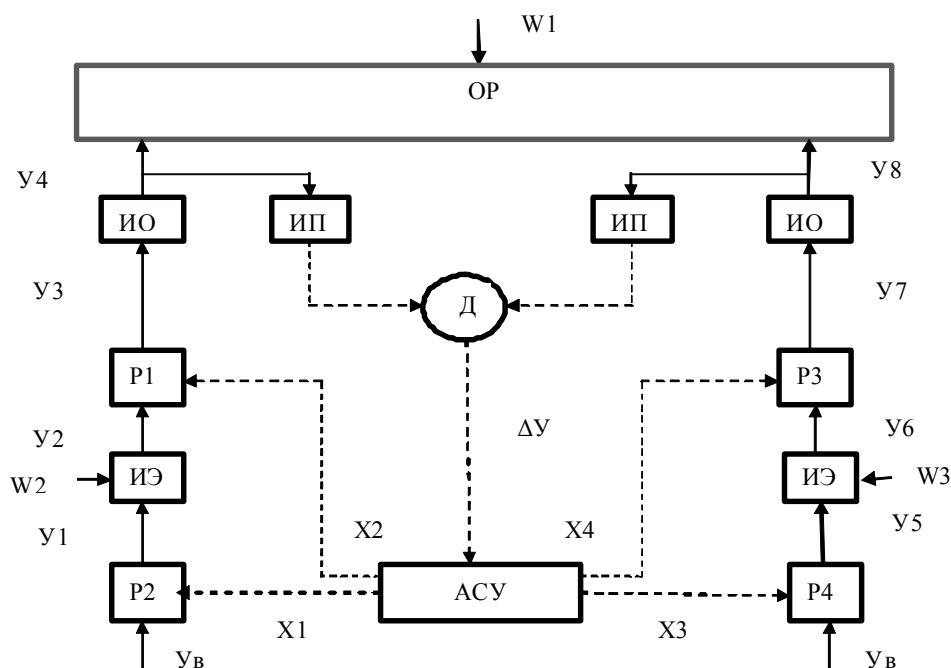


Рис. 3. Принципиальная схема системы регулирования перемещения подъемно-опускных ворот шлюзов СГТС ПОВ

Возможные риски, возникающие в системе регулирования перемещения подъемно-опускных ворот шлюзов:

- 1) От перекоса ворот;
- 2) От надежности элементов гидропривода;
- 3) От гидравлического удара на исполнительный орган ИО1, ИО2;
- 4) От возмущающих воздействий W_1, W_2, W_3 ;
- 5) От ошибки $\Delta U = U_4 - U_8$ – рассогласование регулируемой величины;
- 6) От ошибки регулирования АСУ;
- 7) От перебоя источника питания;
- 8) От ошибочных действий человека;
- 9) От экологии окружающей среды.

По зарубежным данным 90 % отказов гидропривода происходит из-за механических примесей в жидкости [6]. Применение оборудования для очистки масел предполагает дополнительные затраты на приобретение, техническое обслуживание и ремонт.

Методика оценки технических и инвестиционных рисков при модернизации гидроприводов шлюзов СГТС (На примере Балаковский РГСЦ – филиал Волжского ГБУ ВПиС)

Методика оценки технических и инвестиционных рисков при модернизации гидроприводов состоит из четырех этапов.

Этап 1. Оценка частоты негативных событий.

Этап 2. Оценка тяжести негативных событий.

Этап 3. Комплексная оценка технических и инвестиционных рисков при модернизации гидроприводов шлюзов СГТС.

Этап 4. Математическое моделирование комплексной оценки технических и инвестиционных рисков с помощью программы Mathcad [2] (на примере Балаковского РГСЦ).

Этап 1. Оценка частоты негативных событий

1. Расчет вероятности риска гидропривода для минимальной, средней и максимальной интенсивности отказа

В таблице 1 приведены интенсивности отказов гидромеханической части гидропривода [6].

Таблица 1

Интенсивность отказов элементов гидроприводов

№	Наименование	$\lambda_0 \cdot 10^{-6} \text{ час}^{-1}$ (минимальный – средний - максимальный)
1	Гидромотор	1,45 – 4,3 – 7,15
2	Поршни гидравлические	0,08 – 0,2 – 0,35
3	Цилиндры гидравлические	0,005 – 0,008 – 0,12
4	Аккумуляторы гидравлические	0,35 – 6,18 – 18,1
5	Насос с электроприводом	2,9 – 13,5 – 27,4
6	Насос с сервоуправлением (регулированием)	2,81 – 11,28 – 45,0
7	Баки	0,48 – 1,5 – 3,37
8	Теплообменники	2,21 – 15,0 – 18,6
9	Фильтры механические	0,45 – 0,3 – 1,8
10	Уплотнения скользящие	0,11 – 0,3 – 0,92
11	Уплотнения вращающиеся	0,25 – 0,7 – 1,12
12	Соединения гидравлические (механические)	0,012 – 0,03 – 2,01
13	Разъемы гидравлические	- 0,56 -
14	Шланги давления	- 3,66 -
15	Манометры гидравлические	- 1,123 -
16	Клапаны запорные (стопорные)	0,112 – 2,3 – 4,7
17	Клапаны трех- и четырехходовые	1,81 – 4,6 – 7,22
18	Клапаны соленоидные	2,27 – 11,0 – 19,7
19	Клапаны ручного действия (золотниковые)	0,67 – 1,1 – 2,19
20	Клапаны предохранительные	0,224 – 5,7 – 14,1
21	Клапаны челночные	2,89 – 6,9 – 9,76
22	Клапаны обратные или дренажные	3,41 – 5,7 – 15,31
23	Клапаны перепускные (напорные)	0,16 – 2,24 – 8,13
24	Клапаны разгрузочные	1,97 – 10,8 – 19,0
25	Клапаны селекторные	3,7 – 16,0 – 19,7
26	Дроссель механический	0,056 – 1,45 – 4,75
27	Ограничитель гидравлический	- 0,36 -
28	Регулятор расхода (давления)	0,7 – 2,14 – 5,54
29	Регуляторы давления	- 3,55 -
30	Гидравлический демпфер	- 0,112 -
31	Сервоусилитель	- 7,35 -
32	Электродвигатель асинхронный	4,40 – 8,60 – 11,20
Суммарное значение интенсивности отказов		33,074 – 146,405 – 267,14

Расчет надежности системы рассматривается в интервале 8 лет = 69 129 часов – это время морального износа оборудования.

Навигация составляет 244 дня, оборудование работает в день около 10 % времени, что составляет около 24,4 дня \times 0,1 = 2,44 дня работы в год, или

$$24,4 \text{ дня} \times 24 \text{ часа} = 585,6 \text{ часа в год.}$$

За 8 лет время работы оборудования составит около

$$t = 8 \text{ лет} \times 585,6 \text{ часа/год} = 4\,684,8 \text{ часа.}$$

Найдем надежность системы за 8 лет для трех значений интенсивности отказа элементов гидроприводов.

$$\lambda_{\min} = 33,074.$$

$$\lambda_{\text{cp}} = 146,405.$$

$$\lambda_{\max} = 267,14.$$

$$P(\lambda_{\min}) = e^{-\lambda_{\min} t} = 0,86.$$

$$P(\lambda_{\text{cp}}) = e^{-\lambda_{\text{cp}} t} = 0,51.$$

$$P(\lambda_{\max}) = e^{-\lambda_{\max} t} = 0,25.$$

Отсюда найдем вероятности риска для трех значений интенсивности отказа за 8 лет функционирования системы при минимальных, средних и максимальных интенсивностях отказа элементов гидроприводов.

$$P_p(\lambda_{\min}) = 1 - P(\lambda_{\min}) = 0,14.$$

$$P_p(\lambda_{\text{cp}}) = 1 - P(\lambda_{\text{cp}}) = 0,49.$$

$$P_p(\lambda_{\max}) = 1 - P(\lambda_{\max}) = 0,75.$$

2. Расчет вероятности риска гидропривода с учетом резервирования системы

Частота негативного события оценивается через надежность элементов управления гидроприводом

P_p . Параллельное включение повышает надежность системы согласно

$$P_p = (1 - P_n)^n, \quad (3)$$

где P_n – вероятность безотказной работы системы (надежность);

n – число резервных элементов (параллельное включение).

В работе [6] приведены данные по надежности элементов конструкции гидропривода (см. табл. 2)

Таблица 2

Вероятность безотказной работы элементов гидропривода

Элемент гидропривода	$\lambda_p \cdot 10^{-6} \text{ ч}^{-1}$	$\lambda_0 \cdot 10^{-6} \text{ ч}^{-1}$	P_n	P_p
Электродвигатель	13,76	4,3	0,9952	0,0048
Муфта	4,8	1,5	0,9983	0,0017
Насос	61,6	11,0	0,9784	0,0216
Предохранительный клапан	3,42	5,7	0,9988	0,0012
Фильтр	1,08	1,8	0,9996	0,0004
Реле давления	4,95	3,5	0,9983	0,0017
Золотник манометра	0,08	0,06	0,9999	0,0001
Манометр	1,57	1,123	0,9995	0,0005
Распределитель	0,114	0,19	0,9995	0,0005
Гидроцилиндры	24,8	–	0,9978	0,0022
Механическое соединение	0,2	240,01	0,9999	0,0001
Дроссельный регулятор	3,32	5,54	0,9988	0,0012
Теплообменник	8,99	15,0	0,9968	0,0032
Треугольное звено	0,3	340,01	0,9996	0,0004
Тяга	0,32	240,01	0,9998	0,0002
Проушина крепления	0,32	240,01	0,9998	0,0002
Крепление клинкет	0,3	340,01	0,9998	0,0002
Распределитель с ручным управлением	0,012	0,05	0,9999	0,0001
Итого		0,9602	0,0403	

На основе полученных данных можно рассчитать частоту негативного события с учетом резервирования.

Для одного комплекта оборудования вероятность возникновения негативного события составит около

$$P_{p1} = (1 - P_n) = 0,0403.$$

Параллельное включение двух комплектов снижает вероятность возникновения отказа до уровня

$$P_{p2} = (1 - 0,9602)^2 = 0,00162.$$

Параллельное включение трех комплектов приводит к снижению вероятности отказа до значения

$$P_{p3} = (1 - 0,9602)^3 = 0,000065.$$

Этап 2. Оценка экономической тяжести негативных событий

Тяжесть события оценивалась по отношению экономических потерь в результате аварий к материальным затратам на оборудование [7; 8]:

$$S = \frac{m}{M}, \quad (4)$$

где m – материальные потери от аварий и остановок оборудования, тыс. руб.;

M – материальные затраты на приобретение и монтаж оборудования, тыс. руб. (табл. 3).

Таблица 3

Балаковский РГСнС – филиал Волжского ГБУ ВПиС
Затраты и материальные потери при создании и эксплуатации оборудования

№	Наименование	M – Сметная стоимость тыс. руб.	m – Материальные потери, тыс. руб.
1	Оборудование системы управления	14 997,212	$m_1 = 149,97$ (1 % методом экспертной оценки)
	Оборудование системы управления при двукратном резервировании	29 994,246	$m_2 = 14,99$ (0,1 % методом экспертной оценки)
	Оборудование системы управления при трехкратном резервировании	44 991,637	$m_3 = 1,49$ (0,01 % методом экспертной оценки)
2	Оборудование	106 489,220	Гидросистемы $m_z = 58 879,19$ (55 %) Трубопроводы $m_m = 15,98$ (0,014 %)
3	Ремонт оборудования	58 879,19	27 649,680

Этап 3. Комплексная оценка технических и экономических рисков при модернизации гидроприводов шлюзов

Оценка технико-инвестиционного риска – R является сложной функцией от надежности системы – n , инвестиций – M и экономических потерь в результате аварий оборудования и простоев шлюза – m .

$$R(n, M, m) = P_p(n, M, m) S(n, M, m), \quad (5)$$

где $P_p(n, M, m)$ – вероятность возникновения негативного события;

$S(n, M, m)$ – тяжесть негативного события.

Запишем уравнение количественной оценки риска в виде [7]

$$R = P m/M, \quad (6)$$

где P – вероятность (частота) возникновения негативного события;

m/M – тяжесть инвестиционных потерь в результате возникновения негативного события;

m – инвестиционные потери в результате возникновения негативного события;

M – инвестиционные затраты на создание системы.

Преобразуем уравнение (6) в виде

$$RM = Pm = a, \quad (7)$$

где a – коэффициент, характеризующий взаимосвязь частоты негативного события с инвестиционными потерями, или взаимосвязь риска и инвестиционных затрат на создание системы.

На рис. 3 приведена модель (7), показывающая, что с ростом начальных финансовых вложений на разработку и создание системы снижаются технико-экономические риски.

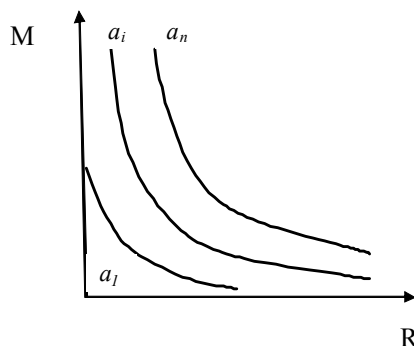


Рис. 3. Взаимосвязь технико-экономического риска и инвестиционных затрат на создание системы

Семейство кривых $a_1 \dots a_i \dots a_n$ указывает на то, что коэффициент, характеризующий взаимосвязь риска негативного события с инвестиционными потерями или взаимосвязь риска и инвестиционных затрат на создание системы, зависит от технического масштаба системы. Чем крупнее создаваемая система, тем больше инвестиций требуется для ее реализации, тем выше уровень кривой a_i .

Этап 4. Имитационное моделирование технико-экономического риска

Учитывая, что математическая модель (6) представляет собой сложную для анализа нелинейную многофакторную зависимость, используем для этих целей математическое моделирование с помощью программы Mathcad [2].

1. Расчет рисков при параллельном включении элементов для повышения надежности работы системы

Алгоритм математического моделирования расчета эффективности снижения риска за счет повышения надежности системы (путем резервирования) представлен на рис. 4.

Исходные данные (см. табл. 2):

$n = 1-3$ – количество комплектов системы;

Pn – надежность одного комплекта системы;

M – финансовые затраты на систему;

m – материальные потери в результате аварии или остановки работы системы.

Расчет показателя соотношения риска Ri к материальным затратам Mi при повышении надежности системы за счет резервирования находится из уравнения

$$W_i = \frac{Ri}{Mi} \text{ (риск/руб.)},$$

где i – количество параллельно включенных звеньев.

Расчет эффективности использования резервного включения для снижения риска находится путем сравнения показателя соотношения риска к материальным затратам W_i системы с i -резервированием к системе с $i+1$ резервированием W_{i+1} , находится как

$$\mathcal{E}_i = W_i / W_{i+1}.$$

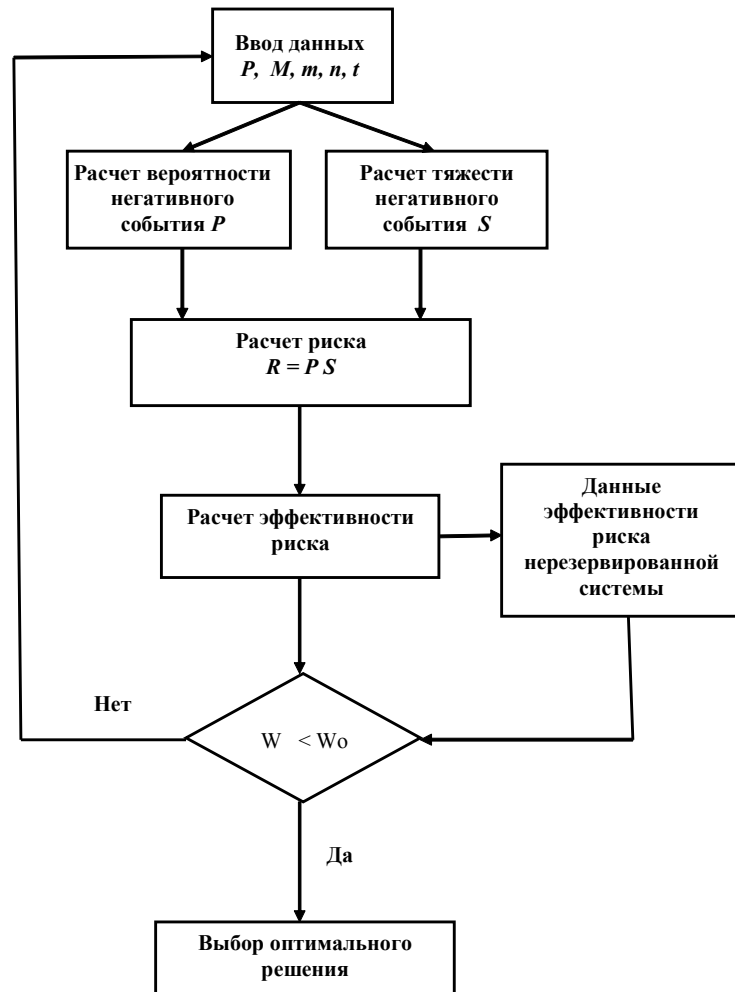


Рис. 4. Алгоритм математического моделирования расчета эффективности снижения риска за счет повышения надежности системы (путем резервирования)

2. Расчет взаимосвязи материальных затрат и рисков при параллельном включении элементов
 Система без резервирования представлена на рис. 5.

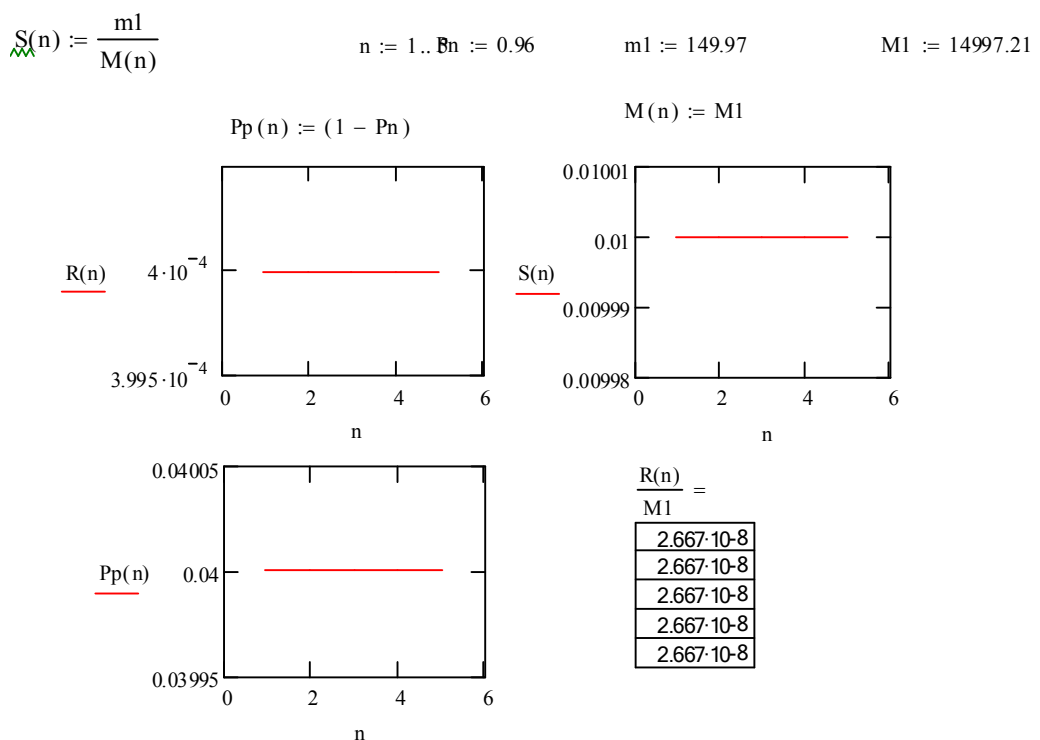


Рис. 5. Расчет взаимосвязи материальных затрат и рисков. Система без резервирования

Показатель соотношения риска к материальным затратам для системы без резервирования составил

$$W_1 = \frac{Rn}{M1} = 4 \cdot 10^{-4} / 14,97 = 2,67 \cdot 10^{-8} \text{ риск/млн руб.}$$

Система с двукратным резервированием элементов показана на рис. 6.

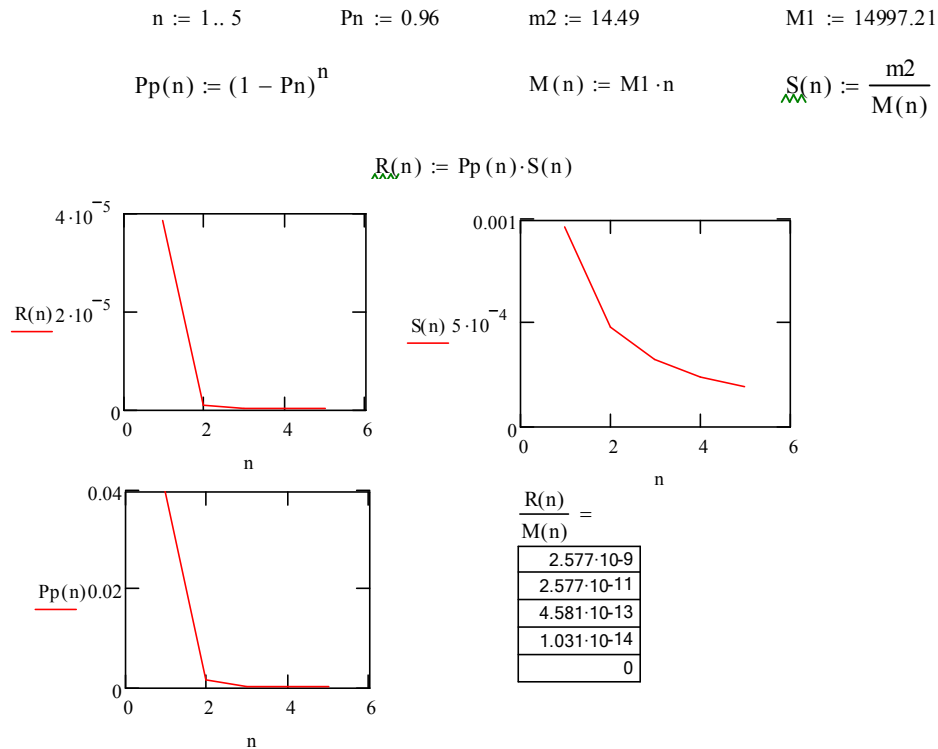


Рис. 6. Расчет взаимосвязи материальных затрат и рисков. Система с двукратным резервированием элементов

Показатель соотношения риска к материальным затратам для системы с двукратным резервированием составил

$$W_2 = \frac{Rn}{M1} = 2,57 \cdot 10^{-11} / 29,34 = 8,75 \cdot 10^{-13} \text{ риск/млн руб.}$$

Система с трехкратным резервированием элементов отображена на рис. 7.

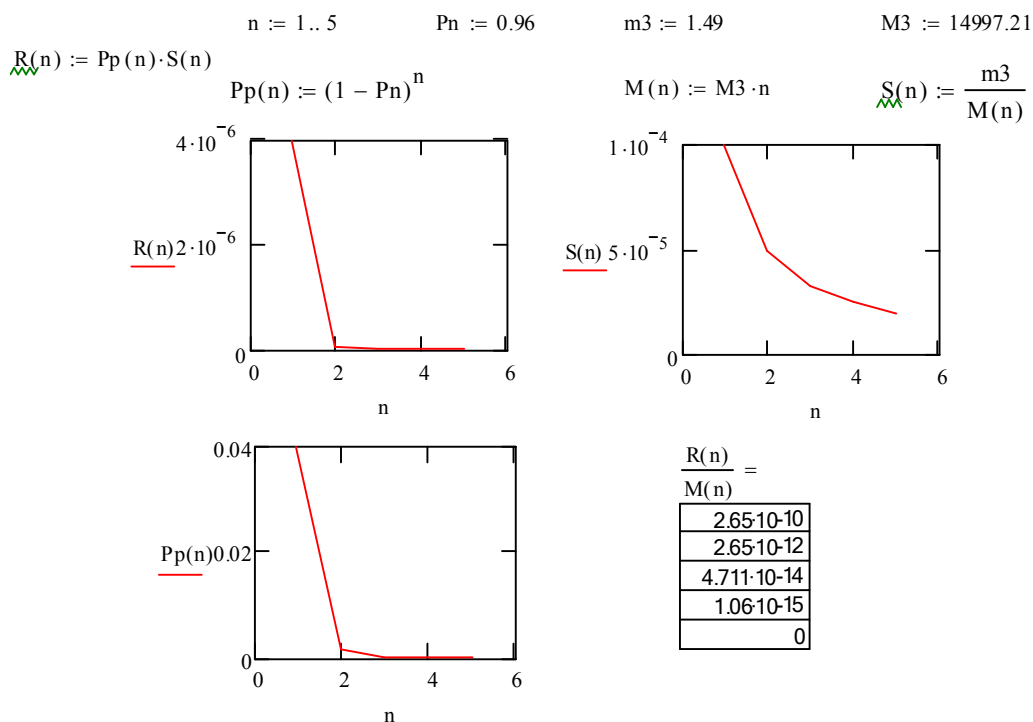


Рис. 7. Расчет взаимосвязи материальных затрат и рисков. Система с трехкратным резервированием элементов

Показатель соотношения риска к материальным затратам для системы с трехкратным резервированием составил

$$W_3 = \frac{Rn}{M_1} = 4,71 \cdot 10^{-14} / 44,31 = 1,06 \cdot 10^{-15} \text{ риск/млн руб.}$$

Из анализа видно, что с увеличением кратности резервирования снижается не только частота возникновения негативного события, но также тяжесть материальных потерь и сама величина инвестиционного риска.

Система без резервирования

$$W_1 = \frac{Rn}{M_1} = 4 \cdot 10^{-4} / 14,97 = 2,67 \cdot 10^{-8} \text{ риск/млн руб.}$$

Система с двукратным резервированием

$$W_2 = \frac{Rn}{M_1} = 2,57 \cdot 10^{-11} / 29,34 = 8,75 \cdot 10^{-13} \text{ риск/млн руб.}$$

Система с трехкратным резервированием

$$W_3 = \frac{Rn}{M_1} = 4,71 \cdot 10^{-14} / 44,31 = 1,06 \cdot 10^{-15} \text{ риск/млн руб.}$$

Найдем эффективность использования резерва для снижения риска:

$$\mathcal{E}_1 = W_1 / W_2 = 2,67 \cdot 10^{-8} / 8,75 \cdot 10^{-13} = 3,05 \cdot 10^4;$$

$$\mathcal{E}_2 = W_2 / W_3 = 8,75 \cdot 10^{-13} / 1,06 \cdot 10^{-15} = 8,25 \cdot 10^2;$$

$$\mathcal{E}_3 = W_1 / W_3 = 2,67 \cdot 10^{-8} / 1,06 \cdot 10^{-15} = 2,51 \cdot 10^7.$$

Если эффективность снижения риска при двукратном резервировании по сравнению с системой без резервирования составила около $\mathcal{E}_1 = 3,05 \cdot 10^4$, то трехкратное резервирование по сравнению с двукратным увеличивает эффективность только на два порядка $\mathcal{E}_2 = 8,25 \cdot 10^2$.

Поэтому можно сделать вывод, что с позиции эффективности риска целесообразно использовать только двукратное резервирование.

Из рис. 5–7 видно, что с увеличением резервирования, а также капитальных затрат на создание системы снижается значение коэффициент a_p , характеризующего взаимосвязь частоты негативного события с инвестиционными потерями или взаимосвязь риска и инвестиционных затрат на создание системы.

Моделирование риска модернизации гидросистемы (на примере Балаковский РГСнС – филиал Волжского ГБУ ВПиС)

Алгоритм расчета параметров минимизации риска системы представлен на рис. 8.

Исходные данные для моделирования:

$M_0 = 58\,879,19$ тыс. руб. – исходная цена модернизации гидросистемы;

$M(t) = M_0 - at$ – снижение стоимости капитальных затрат за 8 лет (моральный износ оборудования);
 $t = 8$ лет время эксплуатации оборудования;

a – угол наклона тренда к оси времени, обусловлен изменением стоимости оборудования в результате его износа (заложим 5 % в год от начальной стоимости оборудования M_0), тогда

$$a = M_0 \times 0,05 = 2,95 \text{ млн руб. в год.}$$

Материальные потери на ремонт оборудования находятся, исходя из условия

$$m(t) = (N/k) c,$$

где $m = 27\,649,680$ тыс. руб. потери на ремонт за 8 лет;

k – количество отказов, равно 47 за 8 лет;

$c = 1$ – количество отказов по годам.

Тяжесть материальных потерь найдем из уравнения [8]:

$$S(t) = m(t) / M(t).$$

Вероятность возникновения негативных событий

$$P(t) = n / T,$$

где $n = 47$ – количество отказов в течение времени T .

Шлюзы в среднем работают 244 дня в году.

Статистические данные по отказам были получены за $t_1 = 7$ лет.

$$T = 244 \text{ дня} \times 7 \text{ лет} = 1708 \text{ дней.}$$

Количественная оценка риска находится из уравнения

$$R(t) = P(t) S(t).$$

Из уравнения видно, что полученная нелинейная многофакторная модель представляет собой большую трудоемкость для анализа и оптимизации технико-инвестиционного риска модернизации шлюза.

Поэтому был разработан алгоритм расчета параметров минимизации риска с помощью программы Mathcad (рис. 8, 9).

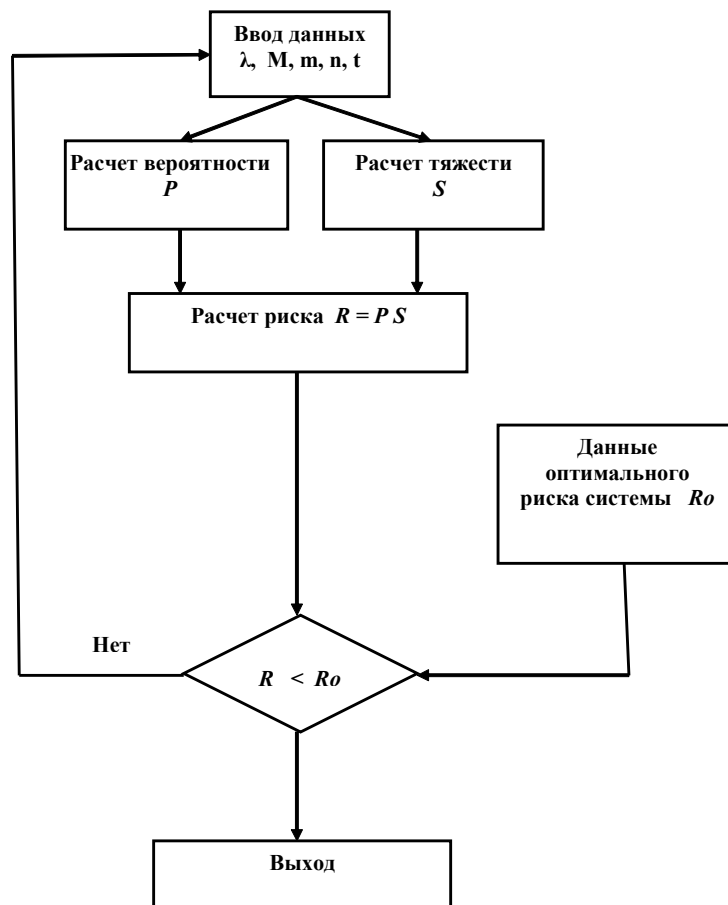


Рис. 8. Алгоритм расчета параметров минимизации риска системы

$$\begin{aligned}
 t &:= 0..10 & M_0 &:= 58.879 & a &:= 2.94 & N &:= 27.649 & k &:= 47 & c &:= 1 \\
 m &:= \frac{N}{k} \cdot c & n &:= 47 & t_1 &:= 7 & T &:= 244 \cdot t_1 & & & & \\
 & & & & & & & & M(t) &:= M_0 - a \cdot t & &
 \end{aligned}$$

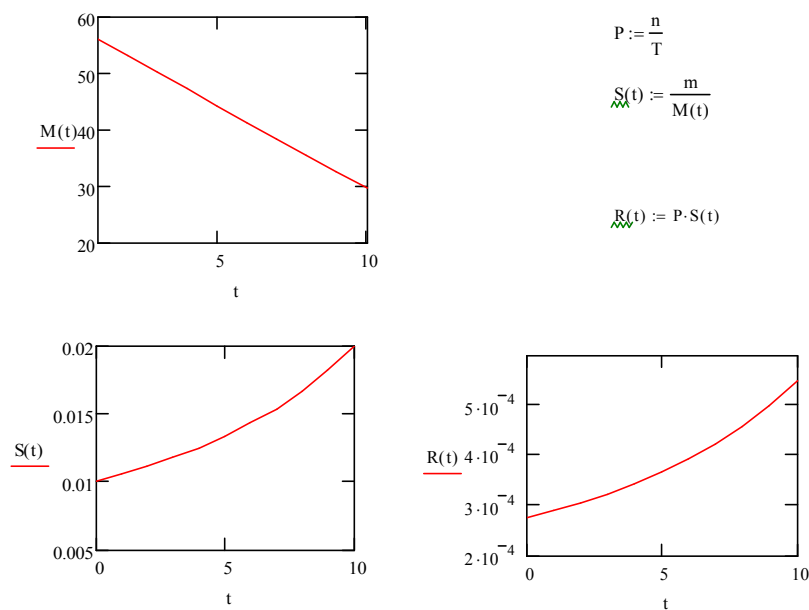


Рис. 9. Моделирование расчета параметров минимизации риска системы

Вывод. Из рис. 9 видно, что риск возрастает и изменяется по параболической траектории с течением времени. Управляя вышеперечисленными параметрами, можно частично изменять скорость увеличения риска.

Библиографический список

1. Ветошкин А.Г. Надежность технических систем и техногенный риск. Пенза: Изд-во ПГУАиС, 2003.
2. Дьяконов В.П. Mathcad11/12/13 в математике: справочник. М.: Горячая линия – Телеком, 2007.
3. Морозов В.Н. Техничко-экономические аспекты инновационно-инвестиционной модернизации приводов шлюзов гидротехнических сооружений. Гидропривод ворот и затворов шлюзов судоходных гидротехнических сооружений: сборник НТМ. Самара, 2013. С. 6–14.
4. Морозов В.Н. Инновационные методы проектирования при строительстве и реконструкции СГТС // Гидротехника XXI век. 2012. № 3 (6) С. 25–28.
5. Результаты апробации комбинированной частотно-дроссельной системой управления гидроприводами подъемно-опускных ворот ВПВ шлюза № 26 ФБУ «Администрация Волжского бассейна» / В.Н. Морозов [и др.] // Информационно-измерительные и информационные системы. Вып. 1 (9): сб. науч. ст. Самара: СамГТУ, 2014.
6. Павлович И.Л. Требования к рабочим жидкостям гидропривода: очистка, осушка. Дегазация // Гидропривод ворот и затворов шлюзов судовых гидротехнических сооружений: сб. науч.-тех. материалов технического совещания по оптимизации конструкции гидропривода. Самара, 2013.
7. Чертыковцев В.К. Моделирование рисков в социально-экономических системах // Известия Академии управления: теория, стратегии, инновации. 2012. № 2. С. 24–27.
8. Чертыковцев В.К. Управление рисками // Экономика, предпринимательство и право. 2013. Т. 3. № 2. С. 14–18.

References

1. Vetoshkin A.G. *Nadezhnost' tekhnicheskikh sistem i tekhnogennyi risk* [Reliability of technical systems and technological risk]. Penza: Izd-vo PGUAI S, 2003 [in Russian].
2. Dyakonov V.P. *Mathcad11/12/13 v matematike: spravochnik* [Mathcad11/12/13 in mathematics. Directory]. M.: Goryachaya liniya – Telekom, 2007 [in Russian].
3. Morozov V.N. *Tekhniko-ekonomicheskie aspekty innovatsionno-investitsionnoi modernizatsii privodov shlyuzov gidrotekhnicheskikh sooruzhenii. Gidroprivod vorot i zatvorov shlyuzov sudokhodnykh gidrotekhnicheskikh sooruzhenii: sbornik NTM* [Technical and economic aspects of innovation and investment modernization of drives of hydraulic engineering gateways. In: Hydraulic drive of gates and locks of sluices of navigable hydraulic structures. NTM Collection]. Samara, 2013, pp. 6–14 [in Russian].
4. Morozov V.N. *Innovatsionnye metody proektirovaniya pri stroitelstve i rekonstruktsii SGTS* [Innovative design methods for the construction and reconstruction of SGTS]. *Gidrotekhnika XXI vek*, 2012, no. 3 (6), pp. 25–28 [in Russian].
5. Morozov V.N. et al. *Rezultaty aprobatsii kombinirovannoi chastotno-drossel'noi sistemoi upravleniya gidroprivodami podemno-opusnykh vorot VPV shlyuza № 26 FBU «Administratsiya Volzhskogo basseina»* [Results of approbation by the combined frequency-throttle control system of hydraulic actuators of the lifting and lowering gate of the ERW of the lock № 26 of the FBU «Administration of the Volga basin»]. In: *Informatsionno-izmeritel'nye i informatsionnye sistemy. Vyp. 1 (9): sbornik nauchnykh statei* [Information and measuring and information systems. Issue 1 (9): collection of scientific articles]. Samara: SamGTU, 2014 [in Russian].
6. Pavlovich I.L. *Trebovaniya k rabochim zhidkostyam gidroprivoda: ochistka, osushka. Degazatsiya. In: Gidroprivod vorot i zatvorov shlyuzov sudovykh gidrotekhnicheskikh sooruzhenii: sbornik nauchno-tekhnicheskikh materialov tekhnicheskogo soveshchaniya po optimizatsii konstruksii gidroprivoda* [Requirements for hydraulic fluids: cleaning, drying, degassing. In: Hydraulic gates and gates of ship hydraulic structures. Collection of scientific and technical materials of the technical meeting on the optimization of hydraulic drive design]. Samara, 2013 [in Russian].
7. Chertykovtsev V.K. *Modelirovanie riskov v sotsial'no-ekonomicheskikh sistemakh* [Risk modeling in social and economic systems]. *Izvestiya Akademii upravleniya: teoriya, strategii, innovatsii* [News of the Academy of Management: theory, strategy, innovation], 2012, no. 2, pp. 24–27 [in Russian].
8. Chertykovtsev V.K. *Upravlenie riskami* [Risk Management]. *Ekonomika, predprinimatel'stvo i pravo* [Journal of Economics, Entrepreneurship and Law], 2013, Vol. 3, no. 2, pp. 14–18 [in Russian].

*V.K. Chertykovtsev, V.N. Morozov**

ECONOMIC RISKS AND RELIABILITY OF HYDRAULIC SYSTEMS

The paper discusses the relationship of economic risks and reliability of hydraulic systems. A method for calculating economic risks is presented on the basis of reliability of elements of the system for regulating the movement of overhead doors of the Balakovo shipping lock.

Key words: risk, reliability, possibility, system.

Статья поступила в редакцию 23/V/2018.
The article received 23/V/2018.

* *Chertykovtsev Valery Kirillovich* (vkchert@ro.ru), Doctor of Technical Sciences, professor, professor of the Department of General and Strategic Management, Samara National Research University, 34, Moskovskoye shosse, Samara, 443086, Russian Federation.

Morozov Viktor Nikolaevich (kafecon@mail.ru), Candidate of Technical Sciences, General Director Tehtransstroy LLC, 12, Gvardeyskaya Street, Samara, 443051, Russian Federation.