

Тогда при независимости процессов достижения компонентами критических уровней экологической надёжности, при $p_0 \approx 1$ имеем:

$$p = \prod_{i=1}^N (1 - q_i \cdot \eta_i), \quad (7.54)$$

где $q_i = d_i / n_i$.

7.6. Особенности оптимизации экологической надёжности систем

Анализ материалов обследования технического состояния и функционирования систем позволяет отметить, что основными причинами их неудовлетворительного функционирования, соответственно и низкой экологической надёжности являются: проектные ошибки (18,9 %), низкое качество строительства (21,2 %), неудовлетворительная эксплуатация (38,6 %) и совокупность всех причин (21,3 %). При этом 26 % из них уже проявляются в период адаптации, 29 % — в период оптимального функционирования и 45 % — в период массового проявления отказов и формирования критического уровня экологической надёжности.

Как показано в работах [9, 53], одним из критериев (свойств-признаков) функции экологической надёжности является величина удельных капитальных вложений.

Так как экологическая надёжность может формироваться начальным резервированием, либо ее поэтапным (при реконструкции) повышением через реализацию соответствующих природоохранным-восстановительных мероприятий, то с точки зрения системного анализа наиболее перспективным является решение данной задачи методом динамического программирования.

Исследования, проведенные с использованием функциональных уравнений Беллмана позволили выявить расчетные сроки реконструкции водохозяйственных систем, обеспечивающих получение максимального эффекта (в годах): первая реконструкция — 18 год; вторая — 33 год; третья — 48 год; четвертая — 67 год; пятая — 83 год.

Как видим, оптимальный межреконструкционный срок службы системы 15–18 лет при максимальном сроке эксплуатации до 30–33 лет. Для этих расчетных интервалов и будем оптимизировать экологическую надежность и капитальные вложения.

Так как функция экологической надежности любой системы и степени антропогенизации определима тремя областями ($\overset{3}{P}_i$), четырьмя состояниями функционирования ($\overset{4}{S}_j$), десятью факторными рисками (\bar{S}_{0-10}) и множеством реальных состояний основных групп элементов, то для ее оптимизации может быть использована зависимость вида:

$$C_{\text{общ}}^{\text{онм}} = A_0 + \mathcal{E}_m \cdot \sum_{i=0}^t [(1 + \alpha)^i]^{-1}, \quad (7.55)$$

учитывающая как начальные капитальные вложения, так и затраты на обеспечение требуемой эконадежности основной группы элементов и системы в целом. Здесь: A_0 — единовременные капитальные затраты; \mathcal{E}_t — текущие годовые расходы по поддержанию работоспособности системы с требуемой степенью экологической надежности; $[(1 + \alpha)^i]^{-1}$ — коэффициент отдаления затрат; α — нормативный коэффициент эффективности; t — период сравнения.

Тогда экономический эффект от повышения уровня эконадежности, независимо от способа ее реализации, может быть определен зависимостью вида:

$$\mathcal{E}'_0 = k_y \cdot E_n \cdot t \cdot (\lambda_1 - \lambda_2) - (C_2 - C_1), \quad (7.56)$$

где λ_1 — предел увеличения стоимости системы при увеличении расчетного периода и повышении уровня экологической надежности в m раз; λ_2 — показатель этапности реализации природоохранный-восстановительных мероприятий за срок службы системы T_0 ; E_n — нормативный коэффициент приведения затрат; k_y — удельные капитальные вложения; C_1 и C_2 — соответственно повариантные стоимости основных групп элементов системы, обуславливающих ее экологическую надежность в целом.

Период оптимальной экологической надежности определяется периодом оптимального функционирования (T_k).

Графики зависимости удельного экономического эффекта от повышения расчетного периода и уровня экологической надежности системы приведены на *рис. 7.2*.

Анализ графика показывает, что повышение расчетного периода и уровня экологической надежности наиболее целесообразно до периода формирования критического уровня экологической надежности (T_k) при оптимизации по минимально допустимому уровню эконадежности, и в конце начального (адаптационного) периода эксплуатации — при оптимизации по начальному резервированию.

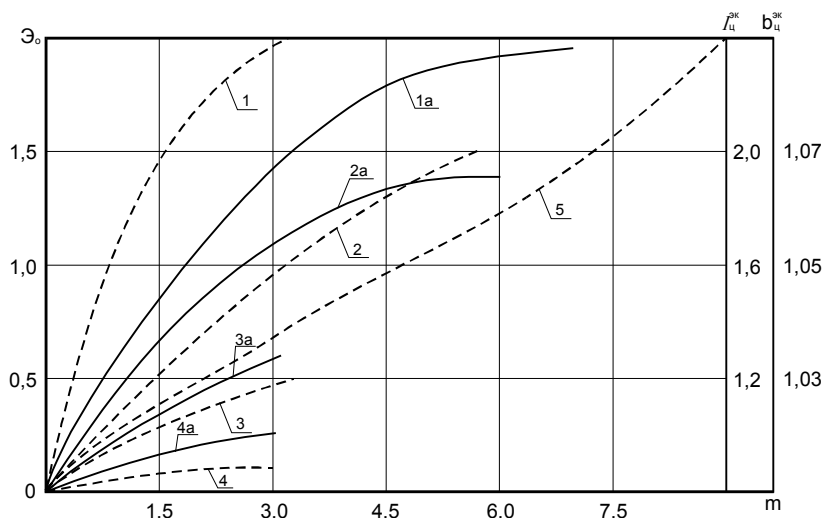


Рис. 7.2. Графики зависимости экономического эффекта от повышения экологической надежности при $(C_1 - C_2) = 0$ (1a, 2a, 3a, 4a) и экономически допустимого увеличения приведенных затрат на него при $E = 0,08$ (1, 2, 3, 4) и увеличения приведенных затрат на обеспечение оптимальной эконадежности при увеличении расчетного периода и уровня (5):

1 — при $T = 5$ и $T_0 = 30$; 2 — при $T = 10$ и $T_0 = 30$;
3 — при $T = 15$ и $T_0 = 30$; 4 — при $T = 30$ и $T_0 = 30$ лет

Тогда степень экономически целесообразного увеличения стоимости системы или основных групп ее элементов

определится соотношением — $\ell_u^{\text{ЭК}} = \frac{L_1}{L_2} + \frac{\mathcal{E}_0}{C_0}$, а степень увеличения приведенных затрат на повышение расчетного периода или уровня эконадежности ($b_u^{\text{ЭК}}$) и соответствующий им экономический эффект (\mathcal{E}'_0) соотношениями — $b_u^{\text{ЭК}} = C/C_0$ и $\mathcal{E}'_0 = \ell_u^{\text{ЭК}} - b_u^{\text{ЭК}}$, где C_0 — затраты на повышение расчетного периода и уровня эконадежности приведенные к сроку реализации природоохранно-восстановительных работ; L_1 и L_2 — соответственно показатели допустимых затрат на строительство и повышение уровня эконадежности основной группы элементов от сроков T_1 и T_2 до срока функционирования системы T_c .

Соответственно, допустимые сроки на повышение расчетного периода и уровня эконадежности на стадии строительства определяются показателем $V_M = L_1/L_2$, а на стадии эксплуатации — $k_\delta = k_1 \cdot V_M$, где k_1 — суммарные затраты на базовый вариант системы.

Оптимальная степень повышения расчетного периода и уровня эконадежности группы элементов системы на стадии строительства определится зависимостью:

$$m_{\text{онм}} = \ln \left[\sqrt{L_1} / (\sqrt{L_2} - 1, 1^{T_c} - 1) \right] \cdot (0.0953T_1)^{-1}, \quad (7.57)$$

где T_1 — продолжительность периода адаптации системы к сформировавшемуся экологическому состоянию среды.

Соответственно, период оптимального функционирования ($T_{\text{опт}}$) и показатель технического совершенства системы (α_k) определяются соотношениями —

$$\left. \begin{aligned} T_{\text{онм}} &= \left[\ln \left(\sqrt{L_1} / \sqrt{L_2} + (1 + E)^{-T_c} - 1 \right) \right] \cdot \left[\ln(1 + E) \right]^{-1} \\ \alpha_k &= \left[(1 + E)^{T_2} - 1 \right] \cdot \left[(1 + E)^{T_2} - (1 + E)^{T_2 - T_c} \right]^{-1} \end{aligned} \right\} \cdot (7.58)$$

Графическое представление этих характеристик и дает обобщенную диаграмму эконадежности и качества систем (рис. 7.3).

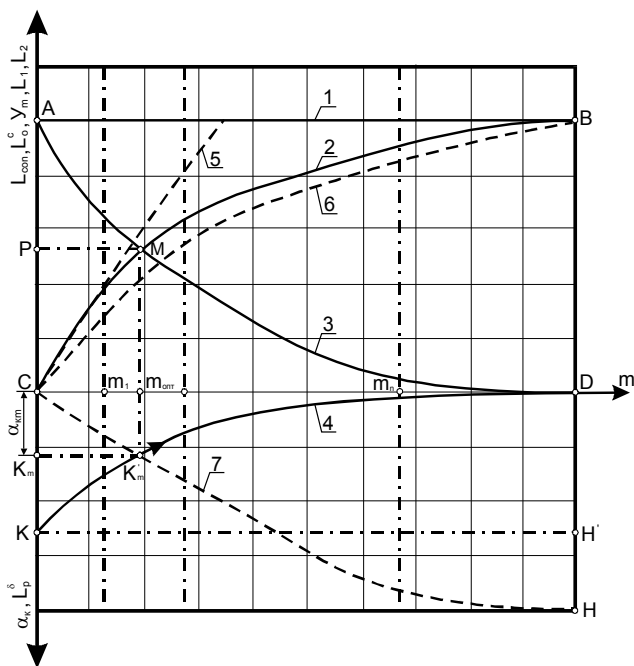


Рис. 7.3. Обобщенная диаграмма уровня эконадежности и технического совершенства системы: 1 — $L_1 = f_1(T, T_c)$; 2 — $Y_m = f_2(m, T)$; 3 — $L_2 = f_3(m, T)$; 4 — $\alpha_k = f_4(m, T)$; 5 — $L_c = f_5(m, T)$; 6 — $L^0_c = f_6(m, T)$; 7 — $L_p^\delta = f_7(m, T)$

Анализ основных характеристик (1, 2, 3, 4) позволяет отметить следующее.

При повышении расчетного периода и уровня эконадежности в период эксплуатации кривая 2 приближается к прямой 1, при этом $m_{кр} \cdot T = T_c$, т.е. при равенстве периода эконадежного функционирования всей системы и основных групп элементов ($T=T_c$) допустимая степень увеличения затрат ($m_{пр}$) достигнет предельного уровня в точке В, где $Y_m = L_1$.

Повышение расчетного периода и уровня эконадежности можно обеспечить и за счет повышения совершенства основных групп элементов, но при этом повышение расчетного периода и уровня эконадежности в m раз обуславливает возрастание уровня технического совершенства, который асимптотически приближается к своему предельному значению в точке Д ($\alpha_k = 1$). А это означает, что показатель затрат

на природоохранно-восстановительные мероприятия в процессе функционирования системы, уменьшается по мере увеличения периода оптимального функционирования. При небольшом расчетном периоде эконодежного функционирования затраты на повышение расчетного периода и уровня эконодежности незначительны (в точке А, $L_1=L_2$).

Точка P характеризует равенство показателей затрат на повышение эконодежности в процессе функционирования и обеспечения ее расчетного периода начальным резервированием.

Точка M пересечения линий 2 и 3, характеризующая оптимальность ($Y_m=L_2$) периода функционирования с заданной степенью (уровнем) эконодежности определяет соответственно и пределы экономической целесообразности повышения уровня эконодежности начальным резервированием (если повышение расчетного периода эконодежности основной группы элементов менее чем в $m_{\text{опт}}$ раз) и поэтапной реализацией природоохранно-восстановительных мероприятий при других условиях.

Исходя из этого, определение достигнутого показателя совершенства системы для любой степени (расчетного периода и уровня) можно производить графически, проектируя точку $m_{\text{опт}}$ на кривую 4 (K'_m), а затем на ось ординат (K_m).

Анализ дополнительных зависимостей (5, 6, 7) позволяет отметить, что повышение степени эконодежности определяет возрастание сопутствующих капитальных вложений (L_c), затрат в сопряженной области (L_c^0) и уменьшения затрат на эксплуатационные службы (L_p^δ).

Эти показатели определяются соотношениями:

$$L_c = (L_1 - 1)/(L_2 - 1);$$

$$L_c^0 = L_1 / L_2$$

$$\text{и } L_p^\delta = Y_m \cdot (L_2 - 1)/(L_2 - 1). \quad (7.59)$$

Проводя через определенные значения m_i вертикальные линии, можно определить значения вышеопределенных показателей и, тем самым, более полно и достоверно оценить эффективность мероприятий по повышению расчетного периода и уровня эконодежности.