## 7.3. Особенности прогноза оптимизации сроков реализации мероприятий по поддержанию экобезопасности

Не менее актуальна и проблема оптимальных сроков реализации мероприятий, позволяющих перевести систему (объект) в желаемое состояние. Так как любые антропогенные системы (объекты) являются многоподсистемными, с непрерывным временем и непрерывными состояниями, то в основу определения оптимальных периодов должна ложиться теория восстановления с использованием функции предельного распределения возраста

$$\psi(y)=\frac{1}{E(t)}\cdot\int_0^y \exp\left(-\int_0^t \lambda(x)\,dx\right)dt, \qquad (7.35)$$

где $E(t)$ — математическое ожидание времени функционирования системы до критического уровня эконадежности и $E(t)=\int_0^\infty \tau\cdot f(\tau)d\tau$, $\tau$ — время оптимального функционирования основных подсистем; $\lambda(T)$ — средняя интенсивность формирования предкритических состояний системы.

Считая, что эконадежность системы в равной степени определяется эконадежностью всех $m$ компонент, то вероятность достижения ею критического уровня в промежутке от $T$ до $T+\Delta t$ равна $\gamma=\lambda\cdot\Delta_t+O(\Delta_t)$, где $\lambda$ — постоянная величина, не зависящая от времени и числа компонент, определяющих требуемую эконадежность; $O(\Delta_t)$ — величина, имеющая порядок малости более высокий, чем $\Delta_t$.

Тогда приняв, что система достигает критического уровня эконадежности, если число определяющих компонент достигает $K$, можно описать соответствующие переходы состояний экосистемы следующим образом $E_0\to E_1\to E_2\to\ldots\to E_{K-1}\to E_K\to E_n$, где $E_0$ — начальное состояние системы; $E_K$ — состояние системы при критическом уровне эконадежности; $\underset{0<n<K}{E_n}$ — состояние системы с критическими уровнями эконадежности $n$ компонент.

Переход системы из состояния $E_0$ в состояние $E_n$ за время [0, $T+\Delta_t$] может осуществляться одним из двух взаимно исключающих друг друга способов:

– за время [0, $T$] имеет место переход $E_0 \to E_n$, а за время [$T$, $T+\Delta_t$] не было формирования компонент с критическими уровнями с вероятностью совместности этих событий $P_n(T)\cdot\left[1-(m-n)\cdot\left(\lambda\cdot\Delta_t+O(\Delta_t)\right)\right]$;

– за время [0, $T$] имеет место переход $E_0 \to E_{n-1}$, а за время [$T$, $T+\Delta_t$] – $E_{n-1} \to E_n$ с вероятностью совместности этих событий $P_{n-1}(T)\cdot(m-n+1)\cdot(\lambda\cdot\Delta_t+O(\Delta_t))$.

Таким образом,

$$\begin{gathered}P_n(T+\Delta_t)=P_n(T)\cdot\left[1-(m-n)\cdot\left(\lambda\cdot\Delta_t+O(\Delta_t)\right)\right]+\\+P_{n-1}(T)\cdot(m-n+1)\cdot\left(\lambda\cdot\Delta_t+O(\Delta_t)\right)\end{gathered}, \quad (7.36)$$

и соответственно:

$$\frac{dP_n(T)}{dT}=-(m-n)\cdot\lambda\cdot P_n(T)+(m-n+1)\cdot\lambda\cdot P_{n-1}(T). \quad (7.37)$$

С каждым из состояний $E_n$ связано число определяющих компонент ($m$-$n$), что позволяет отыскать математическое ожидание числа компонент с некритическим состоянием

$$A_K=\frac{K}{\sum_{i=0}^{K-1}\left[\left(\frac{1}{m-i}\right)+\frac{\lambda}{\ell}\right]}. \quad (7.38)$$

Если $A_K > A_{K+v}$, то это значит, что, реализуя природоохранно-восстановительные мероприятия при $K$ критических компонентах, мы значительно увеличим период оптимального функционирования системы по сравнению с реализацией этих же мероприятий в период формирования ($K+v$) критических компонент.

А так как, если $A_K > A_{K+1}$, то $A_K > A_{K+v}$, что соответственно и определяет число компонент, обуславливающих достижения системой критического уровня эконадежности.

Отсюда период реализации природоохранно-восстановительных мероприятий будут оптимальным при достижении критического уровня одной компонентой системы, когда 6, двух компонент, если — $\frac{1}{m\cdot(m-1)}<\frac{\lambda}{\ell}\leq\frac{3\cdot m-1}{m\cdot(m-1)\cdot(m-2)}$ и т. д.

Заметим, что $\frac{\lambda}{\ell}=\frac{E(\theta)}{E(\tau)}$, где $E(\theta)$ — математическое ожидание времени $\tau$ оптимального функционирования систем с компонентой, не достигшей критического уровня, а $E(\tau)$ — математическое ожидание времени $\theta$ необходимого для восстановления эконадежной системы.

Исходя из среднестатистических значений для водохозяйственных систем, имеем: $E(\tau)$=15 лет, $E(\theta)$=3 года и $m$ = 12. Тогда $m$ = 1 расчетное соотношение 1/132, для $m$ = 2 – 1/40, $m$ = 3 – 1/25, $m$ = 4 – 1/8, $m$ = 5– /4 и $m$ = 6 – 1/2.

Так как $\lambda/\ell=1/5$, то оптимизационный период для повышения эконадежности системы будет при достижении критического состояния любыми четырьмя компонентами, так как $\underset{m=4}{\frac{1}{B}}<\frac{\lambda}{\ell}=\underset{m=5}{\frac{1}{5}}<\frac{1}{4}$.

На практике чаще всего осуществляют покомпонентное восстановление эконадежности системы, что определяет необходимость исследований особенностей перехода систем не только в соседние (слабоизмененные) состояния $(a_i \rightarrow a_{i+1})$, но и в сильноизмененные (деградированные) состояния $(a_i \rightarrow a_{i-k})$.

## 7.4. Особенности оценки изменения уровня экологической надежности объектов и систем

Так как состояние среды по основным группам параметров может характеризоваться как «как быстро меняющаяся среда» и «прогнозируемо-изменяющаяся среда», то оценка изменения уровня экологической надежности может быть проведена с использованием кривых роста надежности.