

Оценка технического состояния строительных конструкций зданий на основе многоуровневого вероятностного анализа

*К.т.н., профессор В.А. Соколов**,
ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Ключевые слова: техническое состояние; вероятностный аппарат; многоуровневое диагностирование; методы теории информации; информационная энтропия; иерархическая структура диагностирования; прямой ход; обратный ход

Для анализа технического состояния, а также для определения категорий технического состояния элементов зданий в соответствии с [1,2] предложен подход, основанный на теоретическом аппарате технической диагностики, использующем вероятностные методы распознавания состояний сложных технических систем [3]. Диагностирование выполняется статистическим методом с применением обобщенной формулы Байеса [4-9]:

$$P(S_i / K^*) = \frac{P(S_i)P(K^* / S_i)}{\sum_{s=1}^n P(S_s)P(K^* / S_s)}$$

После вычисления апостериорных вероятностей состояний $P(S_i / K^*)$ для каждого элемента по указанной зависимости осуществляется анализ полученных результатов с использованием аппарата теории информации, в частности, с использованием понятий информационной энтропии [4,5,10,11]. На этой основе строится многоуровневая модель диагностирования. Такой подход к оценке технического состояния зданий предлагается впервые.

В качестве примера рассматривается здание старой городской застройки, состоящее из следующих основных конструктивных систем: фундаменты, наружные стены, перекрытия, крыша. Для проведения вероятностного анализа технического состояния здания его элементы, подсистемы и системы со своими диагностическими параметрами можно представить в виде многоуровневой иерархической схемы – дерева диагнозов (рис. 1).

В данной статье рассмотрены результаты вероятностного анализа состояний только одной из конструктивных систем – системы междуэтажных перекрытий и их элементов. Эта ветвь дерева диагнозов выделена из общей схемы и отдельно представлена на рис. 2. Как видно, показаны два междуэтажных перекрытия, имеющих различное конструктивное исполнение: железобетонное монолитное, выполненное по схеме балочной клетки, и перекрытие по деревянным и стальным балкам с деревянным заполнением.

Монолитное железобетонное перекрытие состоит из главных балок G_k , второстепенных балок W_k , плитных участков F_k и колонн L_k , которые рассматриваются как его элементы-подсистемы. На рис. 3 схематично показан пример раскладки этих элементов. Как видно из рис. 3, в состав перекрытия входят четыре подсистемы: подсистема «главные балки» ($g = 3$), подсистема «второстепенные балки» ($w = 22$), подсистема «плитные участки» ($f = 24$) и подсистема «колонны» ($l = 2$). Далее это перекрытие будет обозначено как объединенная система «**перекрытие U(GWFL)**».

Перекрытие по деревянным и стальным конструкциям состоит из стальных двутавровых балок D_k , деревянных балок B_k , деревянных элементов заполнения Z_k и стальных колонн L_k . Все они тоже рассматриваются как элементы-подсистемы перекрытия. На рис. 4 схематично показан пример их раскладки. Здесь в состав перекрытия также входят четыре подсистемы: подсистема «стальные балки» ($d = 3$), подсистема «деревянные балки» ($b = 22$), подсистема «элементы заполнения» ($z = 1$) и подсистема «колонны» ($l = 2$). Это перекрытие в дальнейшем изложении будет обозначено как объединенная система «**перекрытие U(DBZL)**».

Процедура построения решения для диагностирования состояний подсистем «**перекрытия U(GWFL)**» рассмотрена в статье [7]. Результаты диагностирования в общем виде представлены в табличной форме (таблица 1).

Окончательные зависимости для распределения вероятностей состояния системы «**перекрытие U(GWFL)**» записаны в следующем виде [6,7]:

Соколов В.А. Оценка технического состояния строительных конструкций зданий на основе многоуровневого вероятностного анализа

$$\begin{aligned}
 P_1(U) / K_u^* &= \sum_{k=1}^u P(U_{k1} / K_u^*) P(U_k) = P(U_{11} / K_u^*) P(V_1) + \dots + P(U_{41} / K_u^*) P(V_4); \\
 P_2(U) / K_u^* &= \sum_{k=1}^u P(U_{k2} / K_u^*) P(U_k) = P(U_{12} / K_u^*) P(V_1) + \dots + P(U_{42} / K_u^*) P(V_4); \\
 P_3(U) / K_u^* &= \sum_{k=1}^u P(U_{k3} / K_u^*) P(U_k) = P(U_{13} / K_u^*) P(V_1) + \dots + P(U_{43} / K_u^*) P(V_4); \\
 P_4(U) / K_u^* &= \sum_{k=1}^u P(U_{k4} / K_u^*) P(U_k) = P(U_{14} / K_u^*) P(V_1) + \dots + P(U_{44} / K_u^*) P(V_4); \\
 P_5(U) / K_u^* &= \sum_{k=1}^u P(U_{k5} / K_u^*) P(U_k) = P(U_{15} / K_u^*) P(V_1) + \dots + P(U_{45} / K_u^*) P(V_4).
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Таблица 1. Результаты диагностирования для системы «перекрытие U(GWFL)»

Подсистемы	$P_1(U_k)$	$P_2(U_k)$	$P_3(U_k)$	$P_4(U_k)$	$P_5(U_k)$	$H(U_k)$	$V(U_k)$	$P(V_k)$
Главные балки	$P_1(G_k)$	$P_2(G_k)$	$P_3(G_k)$	$P_4(G_k)$	$P_5(G_k)$	$H(G_1G_2...G_k)$	$V(G_1G_2...G_k)$	$P(V_g)$
Второстепенные балки	$P_1(W_k)$	$P_2(W_k)$	$P_3(W_k)$	$P_4(W_k)$	$P_5(W_k)$	$H(W_1W_2...W_k)$	$V(W_1W_2...W_k)$	$P(V_w)$
Плитные участки	$P_1(F_k)$	$P_2(F_k)$	$P_3(F_k)$	$P_4(F_k)$	$P_5(F_k)$	$H(F_1F_2...F_k)$	$V(F_1F_2...F_k)$	$P(V_f)$
Колонны	$P_1(L_k)$	$P_2(L_k)$	$P_3(L_k)$	$P_4(L_k)$	$P_5(L_k)$	$H(L_1L_2...L_k)$	$V(L_1L_2...L_k)$	$P(V_l)$

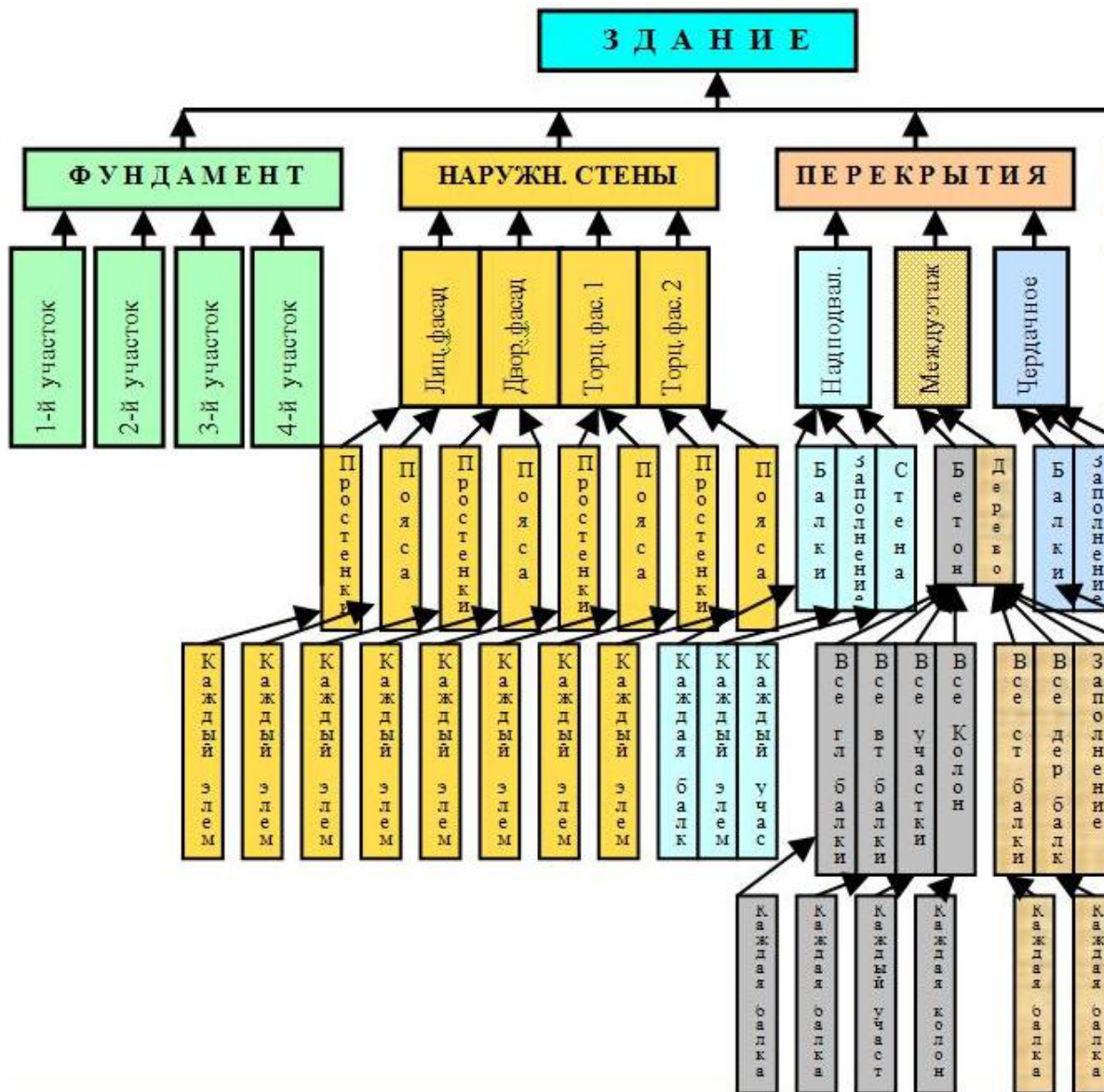


Рисунок 1. Диагностическое дерево

Соколов В.А. Оценка технического состояния строительных конструкций зданий на основе многоуровневого вероятностного анализа

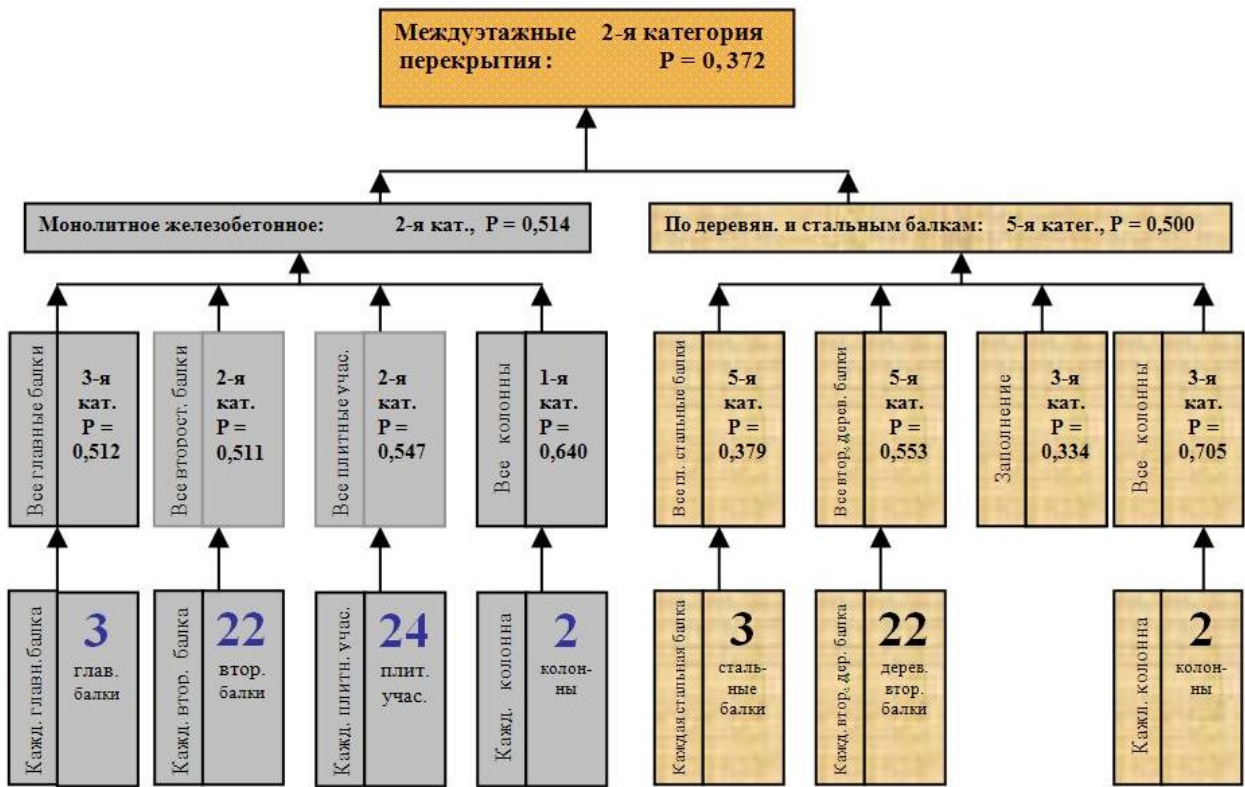


Рисунок 2. Часть диагностического дерева для конструктивной системы «междуэтажные перекрытия»

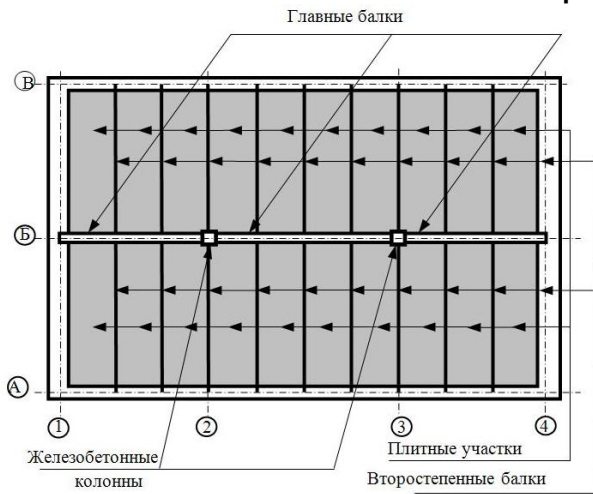


Рисунок 3. Схема раскладки балок монолитного железобетонного перекрытия

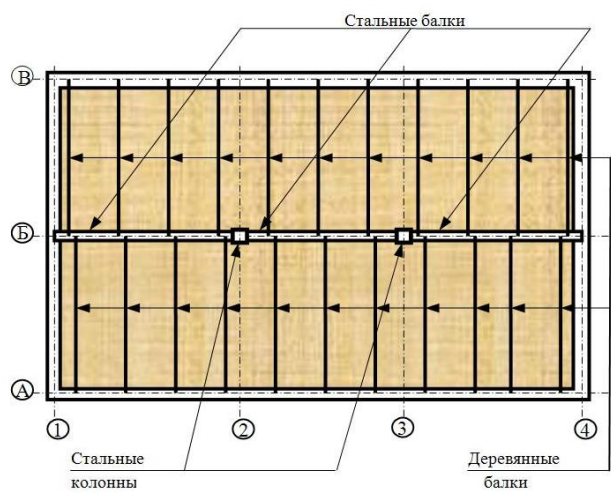


Рисунок 4. Схема раскладки элементов перекрытия по стальным и деревянным балкам

В статье [7] для этого перекрытия в качестве примера приведены численные результаты вероятностного анализа, основанные на матрицах диагнозов, построенных для его подсистем. В данной статье в численные значения внесены некоторые изменения, т. к. рассмотрен другой численный пример. Изменения коснулись второстепенных балок и плитных участков. Значения расчетных вероятностных параметров с учетом изменений сведены в таблицу 2.

Таблица 2. Численные значения вероятностных параметров

Подсистемы	$P(U_{k1})$	$P(U_{k2})$	$P(U_{k3})$	$P(U_{k4})$	$P(U_{k5})$	$H(U_k)$	$V(U_k)$	$P(V_k)$
Главные балки	0,144	0,285	0,512	0,060	0,0006	1,372	0,728	0,059
Второстепенные балки	0,377	0,511	0,105	0,0074	0,00004	8,20	7,2	0,444
Плитные участки	0,165	0,547	0,249	0,039	0,00025	9,12	7,68	0,474
Колонны	0,640	0,218	0,089	0,049	0,0043	0,796	0,604	0,049

По данным таблицы 2 на основе предложенной в [6,7] методики энтропия состояний системы «перекрытие $U(GWFL)$ » определена как сумма энтропий подсистем, составляющих это перекрытие:

$$H(U_k) = \sum_{k=1}^u H(U_k) = H(U_1) + H(U_2) + H(U_3) + H(U_4) = 19,50,$$

затем вычислена степень определенности, или количество внесенной информации (колонка 8 таблицы 2):

$$V(U_k) = \sum_{k=1}^u V(U_k) = V(U_1) + V(U_2) + V(U_3) + V(U_4) = 16,21$$

и вероятности степени определенности (колонка 9 таблицы 2):

$$P(V_1) = V(U_1)/V(U_k) = 0,728/16,21 = 0,059,$$

$$P(V_2) = V(U_2)/V(U_k) = 7,20/16,21 = 0,444,$$

$$P(V_3) = V(U_3)/V(U_k) = 7,68/16,21 = 0,474,$$

$$P(V_4) = V(U_4)/V(U_k) = 0,604/16,21 = 0,049.$$

Тогда для перекрытия в целом в соответствии с (1) получен следующий ряд численных значений апостериорных вероятностей состояний $P_i(U)/K_u^*$:

$$P_1(U)/K_u^* = 0,285; P_2(U)/K_u^* = 0,514; P_3(U)/K_u^* = 0,199;$$

$$P_4(U)/K_u^* = 0,028; P_5(U)/K_u^* = 0,00038.$$

Процедура построения решения и численные результаты при диагностировании состояний подсистем деревянного перекрытия $U(DBZL)$ на основе построенных для них диагностических матриц подробно рассмотрены в статье [8]. Результаты также сведены в аналогичную таблицу (таблица 3).

Таблица 3. Результаты диагностирования для системы «перекрытие $U(DBZH)$ »

Подсистемы	$P_1(U_k)$	$P_2(U_k)$	$P_3(U_k)$	$P_4(U_k)$	$P_5(U_k)$	$H(U_k)$	$V(U_k)$	$P(V_k)$
Стальные балки	$P_1(D_k)$	$P_2(D_k)$	$P_3(D_k)$	$P_4(D_k)$	$P_5(D_k)$	$H(D_1D_2...D_k)$	$V(D_1D_2...D_k)$	$P(V_d)$
Деревянные балки	$P_1(B_k)$	$P_2(B_k)$	$P_3(B_k)$	$P_4(B_k)$	$P_5(B_k)$	$H(B_1B_2...B_k)$	$V(B_1B_2...B_k)$	$P(V_b)$
Элементы заполнения	$P_1(Z_k)$	$P_2(Z_k)$	$P_3(Z_k)$	$P_4(Z_k)$	$P_5(Z_k)$	$H(Z_1Z_2...Z_k)$	$V(Z_1Z_2...Z_k)$	$P(V_z)$
Колонны	$P_1(H_k)$	$P_2(H_k)$	$P_3(H_k)$	$P_4(H_k)$	$P_5(H_k)$	$H(H_1H_2...H_k)$	$V(H_1H_2...H_k)$	$P(V_h)$

Численные же значения этих параметров представлены в таблице 4. По сравнению с примером, рассмотренным в [8], здесь также имеют место некоторые численные изменения.

Таблица 4. Численные значения вероятностных параметров «перекрытие $U(DBZL)$ »

Подсистемы	$P(U_{k1})$	$P(U_{k2})$	$P(U_{k3})$	$P(U_{k4})$	$P(U_{k5})$	$H(U_k)$	$V(U_k)$	$P(V_k)$
Стальные балки	0,013	0,064	0,212	0,332	0,379	2,028	0,578	0,078
Деревянные балки	0,015	0,047	0,135	0,247	0,553	8,39	6,26	0,849
Элементы заполнения	0,317	0,334	0,219	0,109	0,020	0,600	0,063	0,009
Колонны	0,705	0,205	0,057	0,030	0,003	0,796	0,464	0,063

По данным этой таблицы вычислена энтропия состояний системы:

$$H(U_k) = \sum_{k=1}^u H(U_k) = H(U_1) + H(U_2) + H(U_3) + H(U_4) = 11,82,$$

а затем степень определенности (колонка 8 таблицы 4):

$$V(U_k) = \sum_{k=1}^u V(U_k) = V(U_1) + V(U_2) + V(U_3) + V(U_4) = 7,37.$$

Вероятности степени определенности в последней колонке таблицы 4 вычислены по формуле $P(V_k) = V(U_k)/V(DBZL)$.

Тогда для этого перекрытия ряд численных значений апостериорных вероятностей состояний $P(U)/K_u^*$ будет иметь следующий вид [8]:

$$P_1(U)/K_u^* = 0,061; P_2(U)/K_u^* = 0,061; P_3(U)/K_u^* = 0,137;$$

$$P_4(U)/K_u^* = 0,238; P_5(U)/K_u^* = 0,500.$$

Таким образом, для двух систем – «перекрытие $U(GWFL)$ » и «перекрытие $U(DBZL)$ » – получены вероятностные параметры, с помощью которых можно провести анализ технического состояния конструктивной системы следующего уровня – «междуэтажные перекрытия MU » (рис. 2). При этом вероятности степени определенности вычисляются следующим образом:

$$P(V_1) = V(U_1)/V(U_k) = 16,21 / 23,58 = 0,687,$$

$$P(V_2) = V(U_2)/V(U_k) = 7,37 / 23,58 = 0,313.$$

Результаты расчетов также удобно свести в аналогичную таблицу (таблица 5).

Таблица 5. Численные значения вероятностных параметров для системы «междуэтажные перекрытия MU »

Перекрытия	$P(U_{k1})$	$P(U_{k2})$	$P(U_{k3})$	$P(U_{k4})$	$P(U_{k5})$	$H(U_k)$	$V(U_k)$	$P(V_k)$
$U(GWFL)$	0,285	0,514	0,199	0,028	0,00038	19,50	16,21	0,687
$U(DBZL)$	0,061	0,061	0,137	0,238	0,500	11,82	7,37	0,313

Для дальнейшего уровневого анализа можно определить энтропию состояний системы «междуэтажные перекрытия MU », учитывая результаты диагностирования всех элементов обоих перекрытий

$$H(MU_k) = \sum_{k=1}^u H(U_k) = H[U(GWFL)] + H[U(DBZL)] = 31,32.$$

Степень определенности (количество внесенной информации):

$$V(MU_k) = \sum_{k=1}^u V(U_k) = V[U(GWFL)] + V[U(DBZL)] = 23,58.$$

Тогда вероятности состояний объединенной системы «междуэтажные перекрытия MU » предлагается вычислить по зависимостям, аналогичным зависимостям (1):

$$\begin{aligned} P_1(MU)/K_u^* &= \sum_{k=1}^u P(U_{k1}/K_u^*)P(V_k) = P(U_{11}/K_u^*)P(V_1) + P(U_{21}/K_u^*)P(V_2) = 0,215; \\ P_2(MU)/K_u^* &= \sum_{k=1}^u P(U_{k2}/K_u^*)P(V_k) = P(U_{12}/K_u^*)P(V_1) + P(U_{22}/K_u^*)P(V_2) = 0,372; \\ P_3(MU)/K_u^* &= \sum_{k=1}^u P(U_{k3}/K_u^*)P(V_k) = P(U_{13}/K_u^*)P(V_1) + P(U_{23}/K_u^*)P(V_2) = 0,180; \\ P_4(MU)/K_u^* &= \sum_{k=1}^u P(U_{k4}/K_u^*)P(V_k) = P(U_{14}/K_u^*)P(V_1) + P(U_{24}/K_u^*)P(V_2) = 0,094; \\ P_5(MU)/K_u^* &= \sum_{k=1}^u P(U_{k5}/K_u^*)P(V_k) = P(U_{15}/K_u^*)P(V_1) + P(U_{25}/K_u^*)P(V_2) = 0,157. \end{aligned} \quad (2)$$

Как видно по результатам выполненных расчетов, техническое состояние системы «**междуэтажные перекрытия MU**» в данном примере с вероятностью $P(MU)/K_u^* = 0,372$ может быть отнесено к второй работоспособной категории. При этом с помощью параметра $V(MU_k)$ в дальнейшем уровне построения решения оценивается вклад состояния этой системы в состояние системы следующего уровня – здания в целом (рис. 1). Это **прямой ход** диагностирования, позволяющий в итоге определить техническое состояние и категорию для всего здания, а также оценить на этой основе степень и глубину инженерного вмешательства в систему и всех ее подсистем при планировании мероприятий по дальнейшей технической эксплуатации здания.

Интересен **обратный ход**. Его суть в следующем: обратный ход позволяет определить информационную долю (вклад) состояния каждого конструктивного элемента каждой подсистемы в общей информации о состоянии системы высшего уровня – здания в целом. Представляется, что результаты прохождения по иерархической структуре в обратном направлении могут дополнить полученную выше чисто техническую информацию о состоянии объекта еще и стоимостными параметрами.

В данном случае предлагается проделать обратный ход следующим образом. Предположим, что рассматриваемый в данном примере уровень диагностирования «**междуэтажные перекрытия MU**» является высшим. Тогда, как видно из таблицы 5, доля внесенной информации о состоянии системы «**перекрытие U(GWFL)**» (монолитное железобетонное) в общей информации о состоянии системы «**междуэтажные перекрытия MU**» (условный высший уровень) составляет величину $P(V_1) = 0,687$, а системы «**перекрытие U(DBZL)**» – величину $P(V_2) = 0,313$ (см. колонку 9 таблицы 5). Очевидно, что $P(V_1) + P(V_2) = 1,0$.

Тогда, основываясь на данных таблицы 2, доля (вклад) состояния подсистемы «главные балки $G_1G_2G_3$ » в состоянии системы «**перекрытие U(GWFL)**» определится соотношением $0,687 \cdot 0,059 = 0,0405$ (4,05 %). Далее, в соответствии с данными таблицы 5 в [7], доля каждого элемента подсистемы «главные балки $G_1G_2G_3$ » будет представлена следующим рядом значений: для балки G_1 – $0,0405 \cdot 0,470 = 0,0191$ (1,91%), для балки G_2 – $0,0405 \cdot 0,255 = 0,0103$ (1,03 %), для балки G_3 – $0,0405 \cdot 0,275 = 0,0111$ (1,11%).

Доля (вклад) состояния подсистемы «второстепенные балки $W_1W_2W_3...W_{22}$ » составляет величину $0,687 \cdot 0,444 = 0,305$ (30,5 %) и в соответствии с таблицей 6 в [7] вклад состояний каждой из 22-х второстепенных балок определится диапазоном $0,0062 - 0,0176$ (0,62 % – 1,76 %).

Для подсистемы «плитные участки $F_1 F_2 F_3...F_{24}$ » – $0,687 \cdot 0,474 = 0,326$ (32,6 %), а доля каждого плитного участка (таблица 7 в [7]) будет находится в пределах от 0,0059 (0,59 %) до 0,0179 (1,79 %).

Для подсистемы «колонны L_1L_2 » – $0,687 \cdot 0,049 = 0,034$ (3,4%), и доля каждой из них определится значениями 0,0075 и 0,0265 (0,75 % и 2,65 %, таблица 8 в [7]).

Аналогичное распределение долей состояний конструктивных элементов можно получить и для перекрытия по стальным и деревянным балкам [8], т.е. для конструктивной системы «**перекрытие U(DBZL)**».

Представляется, что это доленое распределение состояний может стать достаточно аргументированным обоснованием при выполнении расчетов физического износа каждого конструктивного элемента каждого уровня диагностирования и объекта в целом. Не исключено, что это распределение может быть использовано и в методиках стоимостных расчетов строительной части объектов недвижимости.

Заключение. Выводы по результатам выполненных расчетов можно сформулировать следующим образом:

1. **Прямой ход** диагностирования на основе уровневой постановки задачи позволяет определить техническое состояние и категорию для каждого элемента каждого уровня иерархической структуры, а также для всего здания. Это, в свою очередь, позволяет оценить степень и глубину инженерного вмешательства в систему и ее подсистемы при планировании мероприятий по дальнейшей технической эксплуатации здания.

2. **Обратный ход** дает возможность определить информационную долю (вклад) состояния каждого конструктивного элемента каждой подсистемы в общей информации о состоянии системы высшего уровня – здания в целом. Представляется, что долевое распределение состояний может стать достаточно аргументированным обоснованием при выполнении расчетов физического износа [12] для каждого конструктивного элемента на каждом уровне диагностирования и для объекта в целом.

3. Кроме того, показано, что результаты прохождения по иерархической структуре в обратном направлении могут дополнить полученную чисто техническую информацию о состоянии объекта еще и стоимостными параметрами. Не исключено, что представленное в рамках обратного хода долевое распределение может быть положено в основу стоимостных расчетов в методиках оценки объектов недвижимости в части строительных конструкций.

Литература

1. Болотин В. В. Применение методов теории вероятностей и теории надежности в расчетах сооружений. М. : Стройиздат, 1971. 255 с.
2. Скоробогатов С. М. Принцип информационной энтропии в механике разрушения инженерных сооружений и горных пластов. Екатеринбург : Изд-во УрГУПС, 2000. 419 с.
3. Гаврилова Е. Л., Уткин В. С. Определение физического износа конструкций, оценка их надёжности и долговечности // Строительный комплекс 1998: Тезисы доклада научно-технической конференции. Н. Новгород, 1998. С. 77-78.
4. Соколов В. А. Оценка технического состояния элементов строительных систем с использованием вероятностных методов распознавания // Дефекты зданий и сооружений: материалы XIV научно-методической конференции №14. СПб. : Изд-во ВИТИ, 2010. С. 54–63.
5. Соколов В. А. Вероятностный метод оценки технического состояния конструкций железобетонного монолитного перекрытия зданий старой городской застройки // Инженерно-строительный журнал. 2010. № 4. С. 49–58.
6. Соколов В. А. Вероятностный анализ технического состояния конструкций зданий старой городской застройки // Современные строительные конструкции из металла, дерева и пластмасс: Сборник трудов Международного симпозиума №14, часть 1. Одесса : Внешрекламсервис, 2010. С. 242–250.
7. Соколов В. А. Многоуровневый вероятностный анализ технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений // Дефекты зданий и сооружений: материалы XV научно-методической конференции №15. СПб. : Изд-во ВИТИ, 2011. С. 54–63.
8. Gurov S. V., Utkin L. V. Reliability optimization of systems with periodic modifications in the probability and possibility context // Microelectronics and Reliability. 1997. 37(5). Pp. 801-808.
9. Englund S., Sorensen J., Sorensen B. Evaluation of Repair and Maintenance Strategies for Concrete Coastal Bridges on a Probabilistic Basis. ACJ Materials Journal, v 96. 1999. №2. Pp. 160–166.
10. Биргер И. А. Техническая диагностика. М. : Машиностроение, 1978. 240 с.
11. Соколов В. А. Построение решения для оценки технического состояния конструктивных систем зданий и сооружений с использованием вероятностных методов распознавания // Инженерно-строительный журнал. 2010. № 6. С. 48–57.
12. Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетики. М. : Изд-во иностранной литературы, 1963. 830 с.

* Владимир Алексеевич Соколов, Санкт-Петербург, Россия

Тел. раб.: +7(812)535-16-32; эл. почта: sva0808@rambler.ru

Building systems technical condition assessment based on the multilevel probabilistic analysis

V.A. Sokolov,

Saint-Petersburg State Polytechnical University, Saint-Petersburg, Russia
+7(812)535-16-32; e-mail: sva0808@rambler.ru

Key words

building structures technical condition; stochastic apparatus; multilevel diagnostics; methods of information theory; information entropy; hierarchical diagnostic structure; forward trace; reverse trace

Abstract

Methods based on the stochastic apparatus technical diagnostics are put forward to solve problems concerning determination of the structural elements technical condition. Diagnosis is performed using probabilistic methods of recognition of technical conditions of complex technical systems. The diagnosis is conducted with the help of probabilistic methods of the complex engineering systems condition recognition based on the Bayesian analysis.

The aforementioned approach and information theory methods are applied to run the multilevel diagnostics of elements and systems of floor slabs in old urban buildings. Multilevel diagnostics was done in the concepts of information entropy.

During the analysis of the results of forward and reverse traces on the hierarchical diagnostics structure the next conclusion was made. The forward trace allows to determine the technical condition and category for the each element of each level in the hierarchical structure and the reverse trace gives a possibility to evaluate the contribution of each element condition to the information about the whole building condition. The last point can be an argumentative basis for the account of physical depreciation of building structures.

References

1. Bolotin V. V. *Primeneniye metodov teorii veroyatnostey i teorii nadezhnosti v raschetakh sooruzheniy* [Applying methods of probability theory and reliability theory in constructions calculations]. Moscow: Stroizdat, 1971. 255 p. (rus)
2. Skorobogatov S. M. *Printsip informatsionnoy entropii v mekhanike razrusheniya inzhenernykh sooruzheniy i gornykh plastov* [The principle of the informational entropy in mechanics of destruction of engineering structures and mountain layers]. Ekaterinburg: UrGUPS, 2000. 419 p. (rus)
3. Gavrilova Ye. L., Utkin B. C. *Stroitelnyy kompleks 1998: Tezisy dokladov nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Building complex 1998: Theses of scientific and technical conference]. Nizhnii Novgorod, 1998. Pp. 77–78. (rus)
4. Birger I. A. *Tekhnicheskaya diagnostika* [Technical diagnostics]. Moscow: Mashinostroenie, 1978. 240 p.
5. Shannon K. *Raboty po teorii informatsii i kibernetiki* [Transactions on information theory and cybernetics]. Moscow. Izdatel'stvo inostrannoi literatury, 1963. 830 p. (rus)
6. Sokolov V. A. *Defekty zdaniy i sooruzheniy: materialy XIV nauchno-metodicheskoy konferentsii* [Buildings and constructions defects: proceedings of XIV scientific and methodological conference]. Saint-Petersburg. VITI, 2010. Pp. 54–63. (rus)
7. Sokolov V. A. *Magazine of civil engineering*. 2010. №6. Pp. 48–57. (rus)
8. Sokolov V. A. *Magazine of civil engineering*. 2010. №4. Pp. 49–58. (rus)
9. Sokolov V. A. *Sovremennyye stroitelnyye konstruksii iz metalla, dereva i plastmass. Sbornik trudov Mezhdunarodnogo simpoziuma №14, chast 1* [Modern metal, wood and plastic constructions. Proceedings of international symposium №14, part 1]. Odessa, OGASA. Vneshreklamservis, 2010. Pp. 242–250. (rus)
10. Sokolov V. A. *Defekty zdaniy i sooruzheniy: materialy XIV nauchno-metodicheskoy konferentsii* [Buildings and constructions defects: proceedings of XV scientific and methodological conference]. Saint-Petersburg. VITI, 2011. Pp. 54–63. (rus)
11. Gurov S. V., Utkin L. V. Reliability optimization of systems with periodic modifications in the probability and possibility context. *Microelectronics and Reliability*. 1997. 37(5), Pp. 801–808.
12. Englund S., Sorensen J., Sorensen B. Evaluation of Repair and Maintenance Strategies for Concrete Coastal Bridges on a Probabilistic Basis. *ACJ Materials Journal*. 1999. V. 96. №2. Pp. 160–166.

Full text of this article in Russian: pp. 45-51

Sokolov V.A. Building systems technical condition assessment based on the multilevel probabilistic analysis