



РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ТРАНСПОРТА (МИИТ)

**ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ ВОПРОСНИКОВ  
ДЛЯ СИНТЕЗА СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ  
ПРИ ПОИСКЕ НЕИСПРАВНОСТЕЙ В УСТРОЙСТВАХ  
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ**

Докладчик

ассистент кафедры

АТС на ЖДТ (РУТ (МИИТ))

Валерий Вячеславович Хорошев

Научный руководитель

доктор технических наук, доцент

Дмитрий Викторович Ефанов

Санкт-Петербург

2021

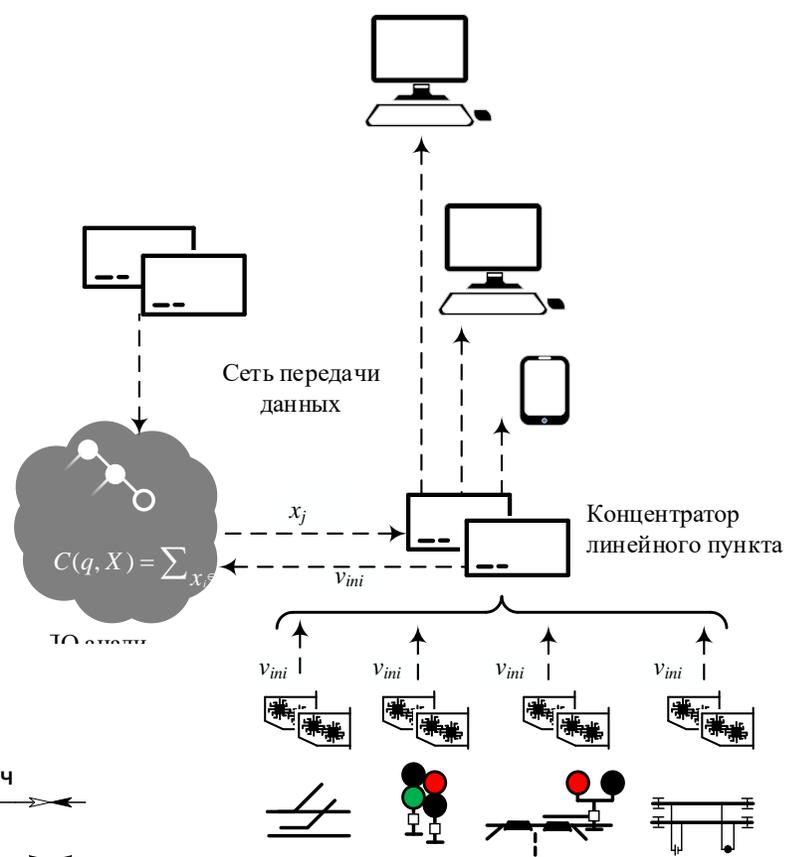
# Объект и предмет исследования

*Железнодорожная автоматика и телемеханика (ЖАТ)* – комплекс средств автоматизации, предназначенный для управления процессами железнодорожных перевозок, обеспечивающий безопасность движения железнодорожных поездов и установленную пропускную и перерабатывающую способность линий.

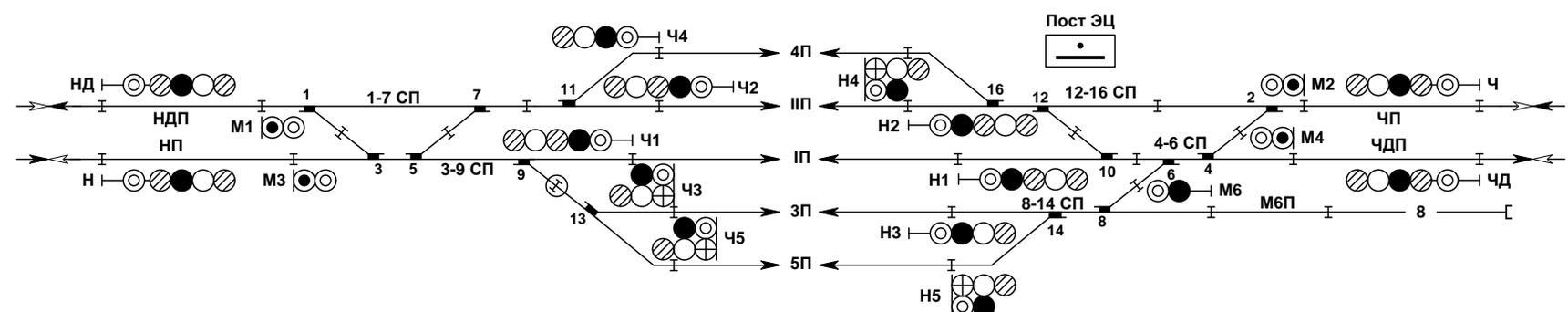
*Системы железнодорожной автоматики* призваны обеспечивать управления и контроль с установленным уровнем безопасности движения поездных единиц.

*Системы технического диагностирования и мониторинга (СТДМ)* позволяют автоматически получать диагностические данные от объектов ЖАТ и формировать информационные сообщения об их состоянии, однако **в них нет систем поддержки принятия решений, а уровень автоматизации при постановке диагноза крайне низок** (анализ возникающих инцидентов ведет технолог-эксперт).

Упрощенная структурная схема СТДМ ЖАТ



**По статистике до 80% всех отказов в устройствах ЖАТ приходится на напольное оборудование!**



Расположение объектов железнодорожной автоматики на схематическом плане станции

# Цели и задачи

**Основной целью исследования** является разработка методов повышения эффективности работы систем технического диагностирования и мониторинга железнодорожной автоматики в части алгоритмического обеспечения с использованием математического аппарата теории вопросников.

**Цель исследования** вытекает из следующих недостатков СТДМ: низкая глубина диагностирования, отсутствие системы поддержки принятия решения, нет автоматизации анализа диагностической информации, влияние человеческого фактора.

**Постановка задачи:** имеется совокупность устройств железнодорожной автоматики и телемеханики, над которыми проводятся процедуры диагностирования. Каждый объект характеризуется своим набором рабочих параметров, набором состояний, множеством предотказов и отказов. Установлено следующее ограничение: одновременно в объекте возможно наличие только одного отказа или предотказа. Структура объекта – блочная. Каждая проверка характеризуется затратами времени на её выполнение. Процедура диагностирования требует затрат времени пропорционально количеству проделываемых проверок на объекте.

Возникает **задача** построения такой последовательности выполнения проверок на объекте диагностирования, которая займёт минимум времени на обнаружение возникшего отказа с учётом возможных измеряемых параметров и дополнительных данных из автоматизированных систем железнодорожной автоматики.

# Исходные данные

**Входными данными являются:** конечное множество возможных проверок на объекте, конечное множество отказов (предотказов) в объекте, время реализации каждой отдельной проверки, условная вероятность возникновения конкретного отказа при возникновении предотказного или отказного состояния объекта.

**Выходные данные:** последовательность выполнения проверок на устройстве которая требует минимум затрат времени для обнаружения неисправности в объекте.

**Ожидаемый эффект:** сокращение времени на поиск отказа в объекте, сокращение воздействия человеческого фактора при анализе измеренных параметров объекта диагностирования, сокращение времени на восстановление работоспособности объекта за счёт сокращения времени на поиск отказа, полная автоматизация анализа поступающей информации с измерительного оборудования, автоматизация обнаружения отказа с указанием точного местоположения отказа и, тем самым, сокращение участия человека в расследовании отказа, сокращение времени простоя поездов при случившемся отказе.

# Модель объекта диагностирования

$F = \{f_i \mid i = \overline{1, n}\}$  - множество отказных состояний;

$F_{pr} = \{f_{pr_i} \mid i = \overline{1, m}\}$  - множество предотказных состояний;

$X = F \cup F_{pr}$  - множество нештатных ситуаций, совокупность множества отказных и предотказных состояний;

$V = \{v_i \mid i = \overline{1, k}\}$  - набор рабочих параметров;

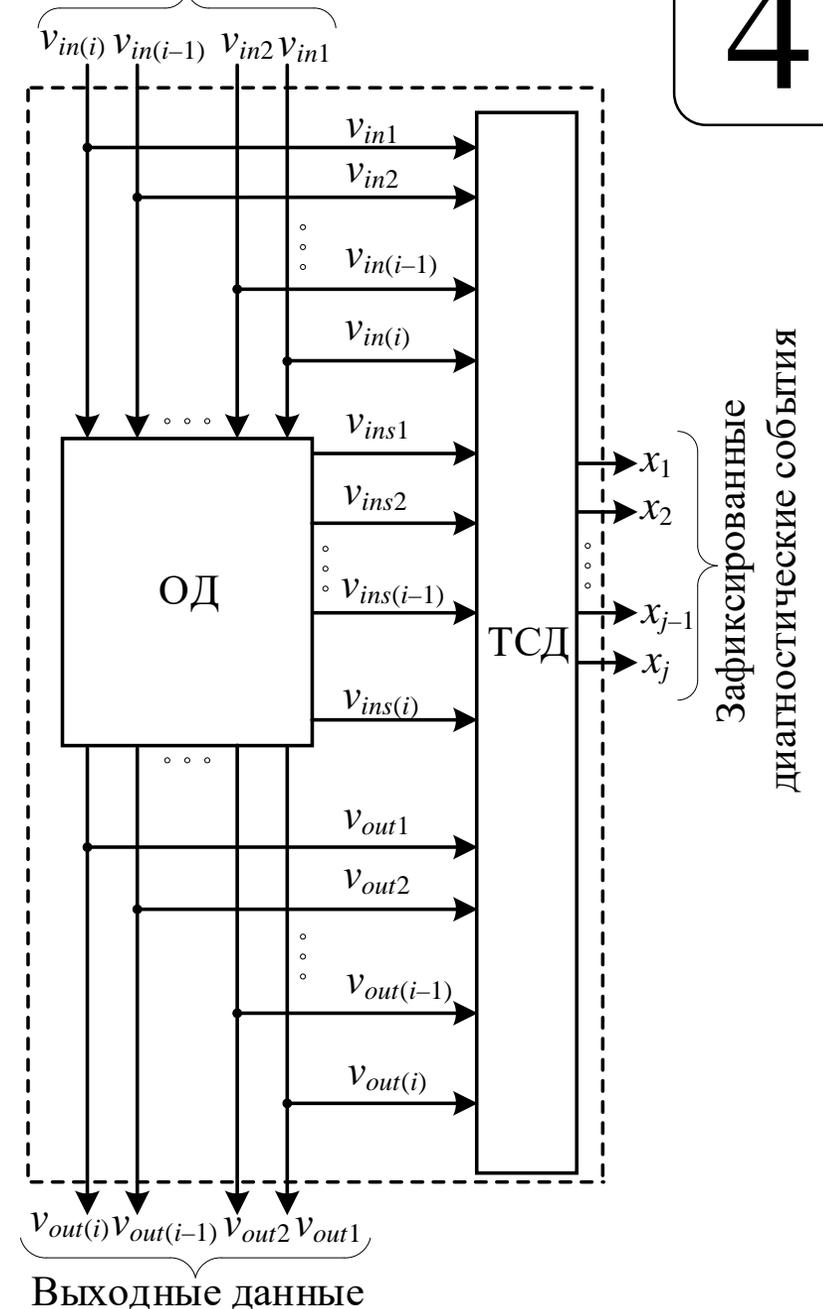
$S = \{s_i \mid i = \overline{1, b}\}$  - все возможные состояния объекта диагностирования.

При этом:

$V^* = \{v_i \mid i = \overline{1, k-1}\}, V^* \subset V$  - подмножество рабочих параметров, которые способна фиксировать СТДМ;

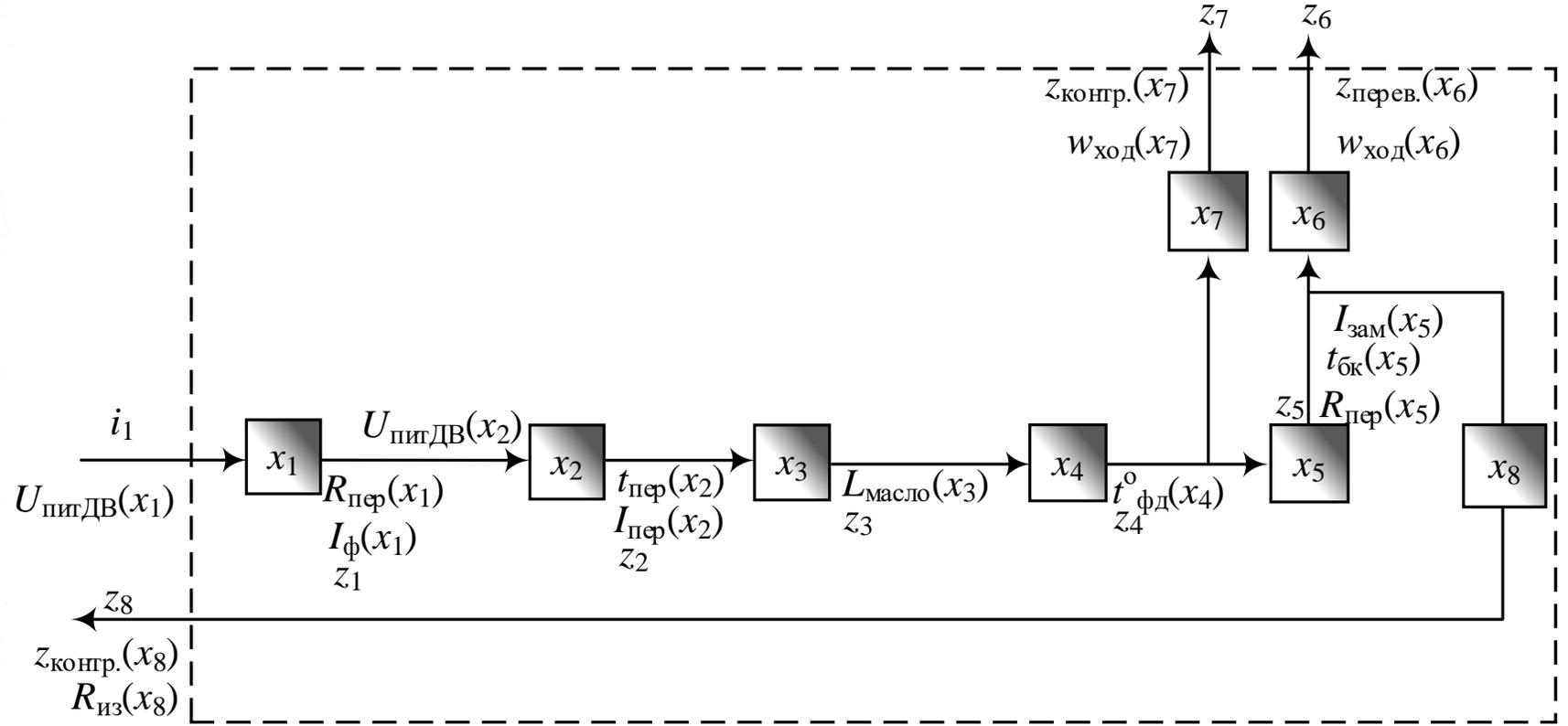
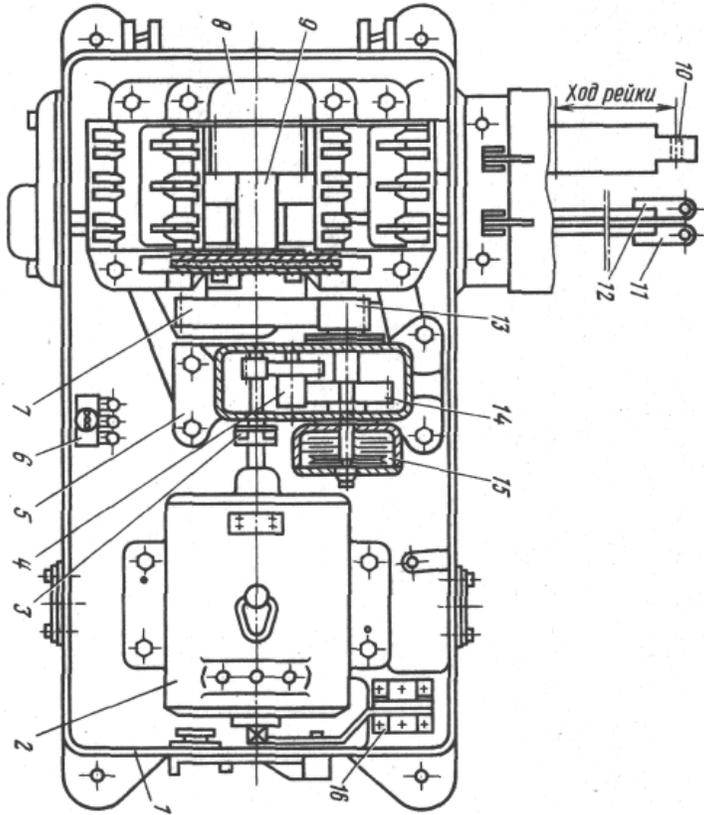
$S^* = \{s_i \mid i = \overline{1, b-1}\}, S^* \subset S$  - подмножество состояний объекта, которые фиксируются СТДМ.

Входные данные



# Диагностическая модель стрелочного электропривода

5



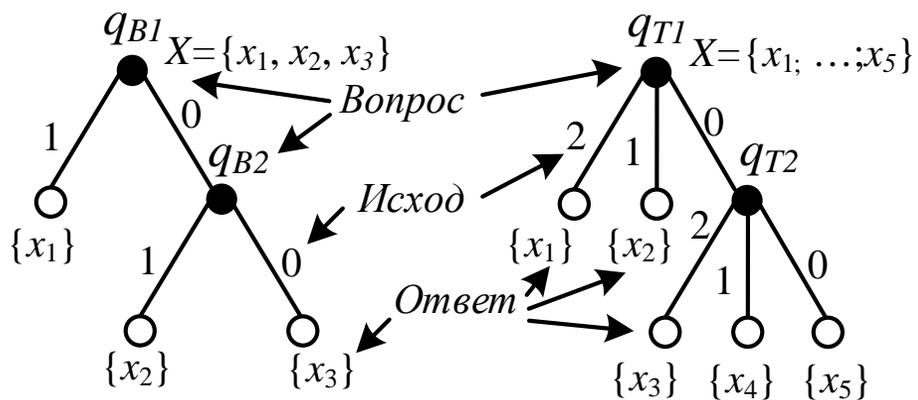
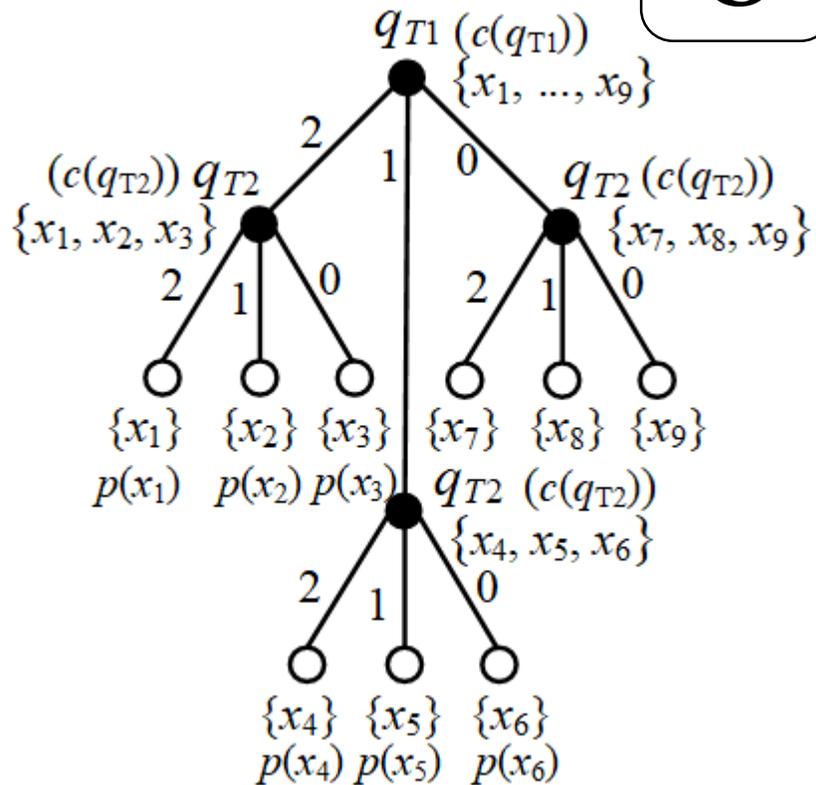
Компоненты стрелочного электропривода:  $x_1$  – блок-контакт;  $x_2$  – электродвигатель;  $x_3$  – редуктор;  $x_4$  – фрикционное устройство;  $x_5$  – автопереключатель;  $x_6$  – контрольные линейки;  $x_7$  – шибер;  $x_8$  – монтаж. Все оборудование стрелочного электропривода размещено в чугунном корпусе, закрепляемом при помощи стрелочной гарнитуры к рельсам.

# Анкета вопросника (анкета неисправностей)

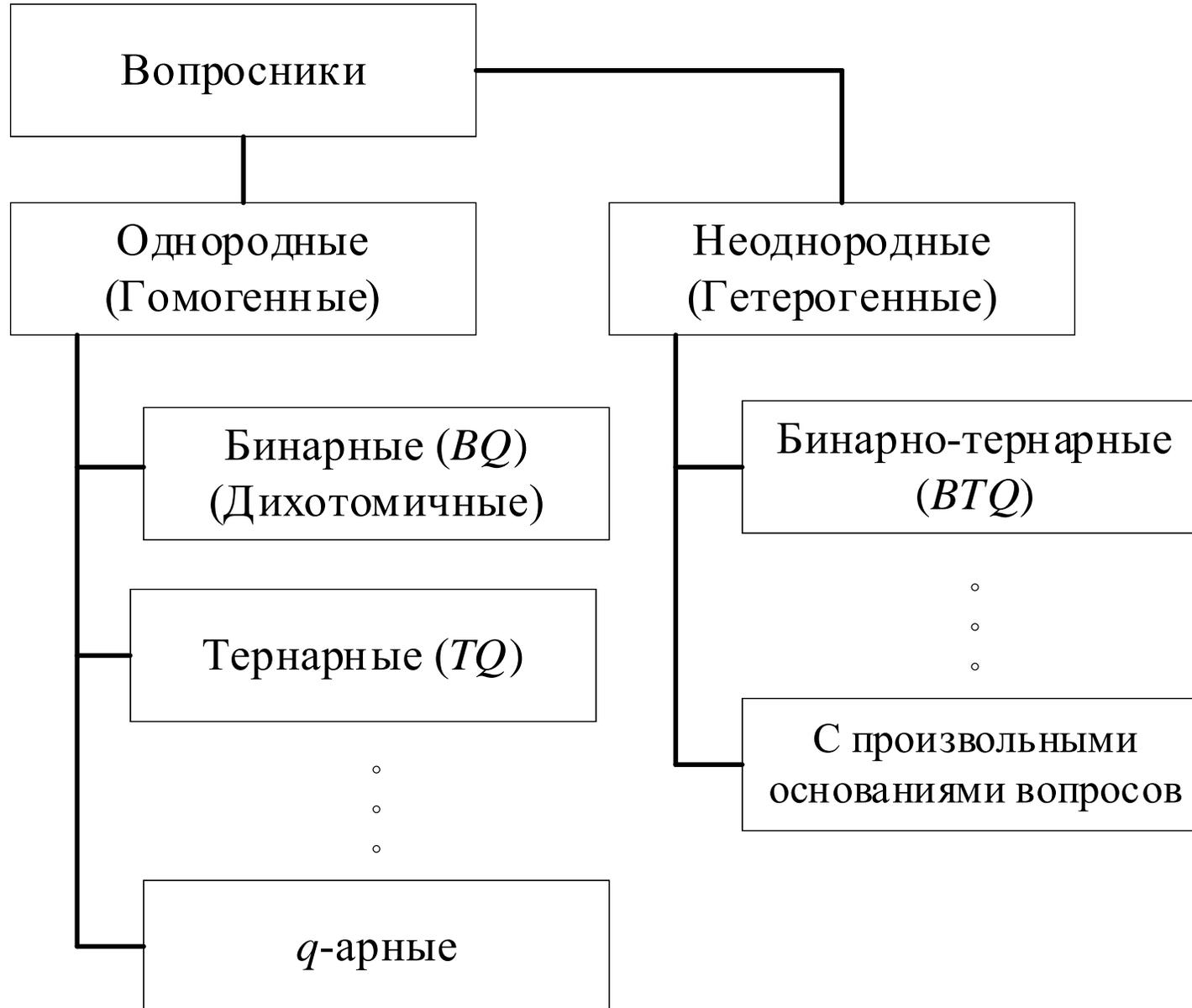
Таблица 1. Анкета вопросника

$q_i$	$c(q_i)$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$x_8$	$x_9$
$q_{T_1}$	$c(q_{T_1})$	2	2	2	1	1	1	0	0	0
$q_{T_2}$	$c(q_{T_2})$	2	1	0	2	1	0	2	1	0
$q_{B_3}$	$c(q_{B_3})$	1	1	1	1	0	0	0	0	1
$q_{B_4}$	$c(q_{B_4})$	1	0	1	0	0	1	1	0	0
$q_{B_5}$	$c(q_{B_5})$	0	1	1	0	1	0	1	1	0
$q_{B_6}$	$c(q_{B_6})$	1	1	0	0	1	1	0	0	1
$p(x_i)$		$p(x_1)$	$p(x_2)$	$p(x_3)$	$p(x_4)$	$p(x_5)$	$p(x_6)$	$p(x_7)$	$p(x_8)$	$p(x_9)$

Анкетой является матрица  $\|b_{ij}\|$  размерности  $m \times n$ , такая что  $b_{ij} = \beta$  если событие  $x_j$  принадлежит  $\beta$ -му исходу вопроса  $q_i$ . Анкета будет являться логически полной, если любая пара событий может быть разделена с помощью перечисленных в ней вопросов. В таблице 1 дана анкета, включающая в себя бинарные и тернарные вопросы.



# Базовая классификация вопросников



Хорошо изученными являются вопросники бинарного типа (ответы на них формулируются в виде «Да» / «Нет» или 1 / 0).

Вопросники для устройств железнодорожной автоматики зачастую являются **неоднородными вопросниками** и включают в себя вопросы с различными основаниями.

# Вопросник в виде нагруженного графа

$X = \{x_j | j = \overline{1, m}\}$  - конечное множество событий которые необходимо разделить вопросами из множества  $Q$ ;

$Q = \{q_i | i = \overline{1, n}\}$  - конечное множество вопросов;

$G(Y, \Gamma)$  - вопросник в виде взвешенного графа у которого:

$Y = Q \cup X$  - множество внутренних  $Q$  и внешних  $X$  вершин;

$y = x_j \in X \Rightarrow \Gamma_x = \emptyset$  - висячие вершины, являются элементами множества  $X$ , не имеют потомков;

$y = q_i \in Q \Rightarrow |\Gamma_q| = a(q_i)$  - внутренние вершины, являются элементами множества  $Q$ , имеют потомков размерности основания вопроса  $a(q_i)$ ;

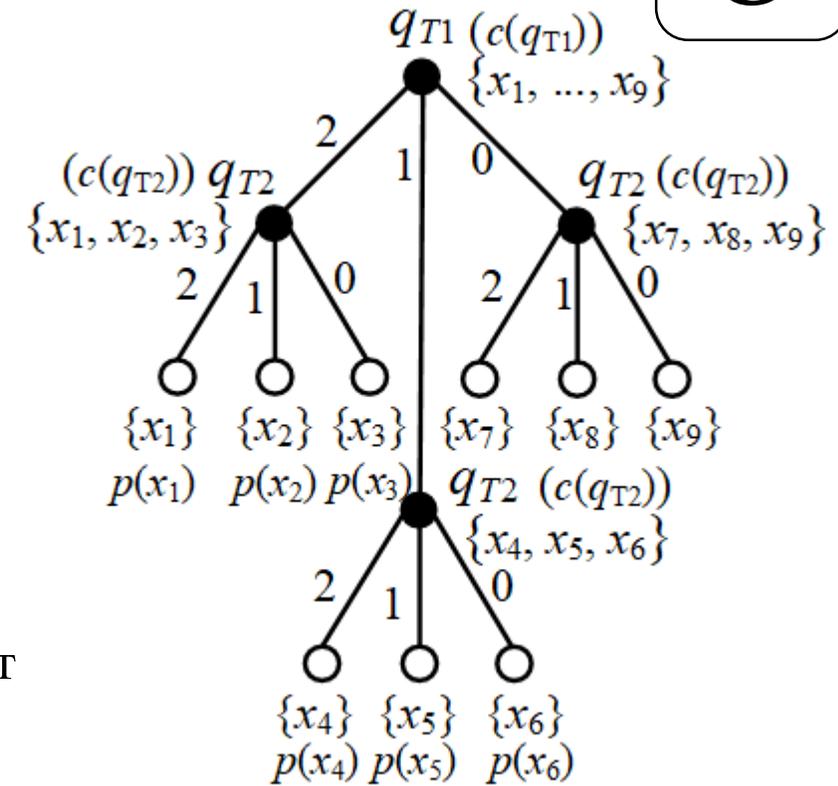
$a(q_i)$  - основание вопроса  $q_i$ , указывает на сколько подмножеств делит вопрос  $q_i$  множество или подмножество;

$Q \cap X = \emptyset$  - множество вопросов  $Q$  разбивает множество событий  $X$  на непересекающиеся подмножества;

$c(q_i)$  - цена вопроса, положительное число, соответствующее затратам на реализацию данного вопроса;

$p(x_j)$  - условная вероятность события;

$\omega(x_j)$  - неотрицательная весовая функция;



$$p(x_j) = \frac{\omega(x_j)}{\sum_{j=1}^m \omega(x_j)}. \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^m p(x_j) = 1. \quad (2)$$

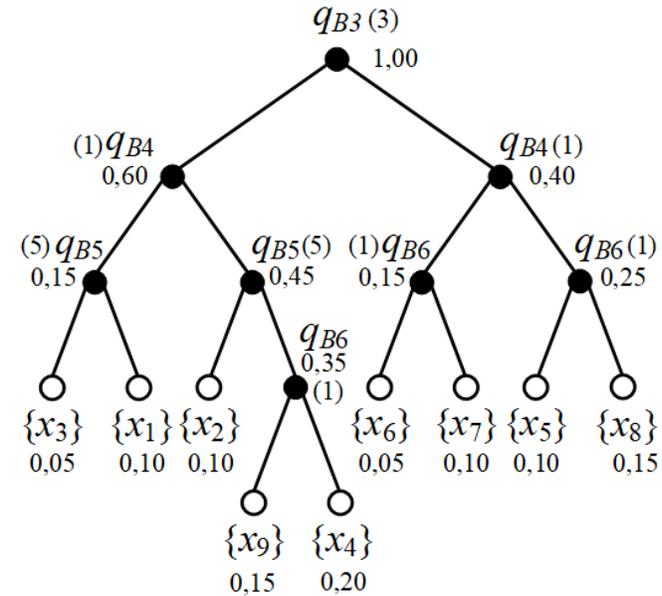
# Свойства бинарно-тернарных вопросников (BTQ)

**Свойство 1.** Бинарно-тернарный вопросник требует постановки меньшего числа вопросов, чем бинарный, позволяющий идентифицировать то же множество событий.

**Свойство 2.** Максимальная длина маршрута в бинарно-тернарном вопроснике может оказаться такой же или меньшей, чем в бинарном вопроснике.

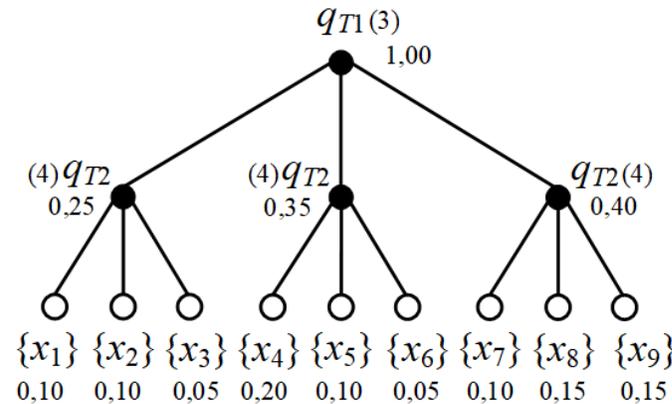
Таблица 2. Анкета вопросника

$q_i$	$c(q_i)$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$x_8$	$x_9$
$q_{T_1}$	3	2	2	2	1	1	1	0	0	0
$q_{T_2}$	4	2	1	0	2	1	0	2	1	0
$q_{B_3}$	3	1	1	1	1	0	0	0	0	1
$q_{B_4}$	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0
$q_{B_5}$	2	0	1	1	0	1	0	1	1	0
$q_{B_6}$	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1
$p(x_i)$		0,1	0,1	0,05	0,2	0,1	0,05	0,1	0,15	0,15



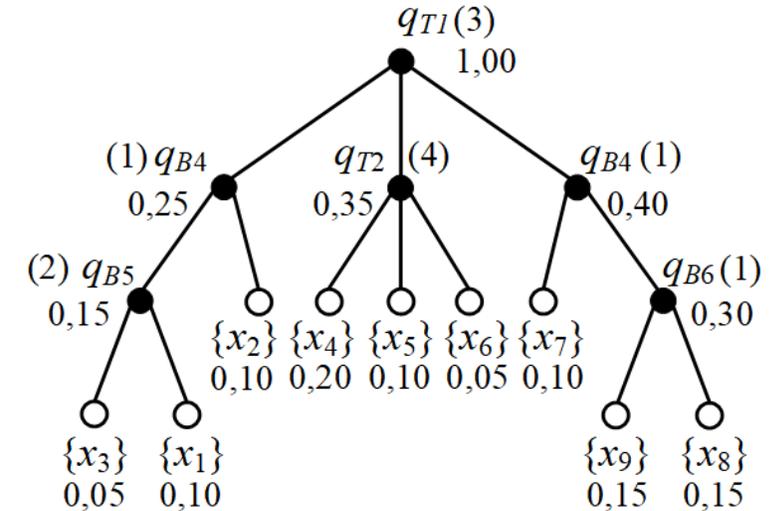
Бинарный вопросник

$$C_{BQ} = 6,05;$$



Тернарный вопросник

$$C_{TQ} = 7,00;$$



Бинарно-тернарный вопросник

$$C_{BTQ} = 5,65.$$

# Основная задача теории вопросников

Основной задачей теории является задача построения вопросника, оптимального относительно некоторого критерия. В данной работе таким критерием является минимум цены обхода вопросника.

Задача возникает по следующим причинам:

- по анкете неисправностей возможно построить  $N = n!$  число вопросников, из всех возможных вопросников необходимо выявить тот у которого будет минимальная цена обхода;
- благодаря параметрам вопросника возможно произвести его оценку.

**Определение 1.** Цена обхода вопросника – это математическое ожидание цены идентификации всех событий в вопроснике.

Цена обхода вопросника вычисляется по формуле:

$$C(G(Y, \Gamma)) = \sum_{x_j \in X} c(q_0, x_j) p(x_j) = \sum_{i=1}^n p(q_i) c(q_i). \quad (3)$$

где,  $q_0$  - корневая вершина дерева проверок,  $c(q_0, x_j)$  - цена идентификации события от корневого вопроса  $q_0$  к висячей вершине  $x_j$ ,  $p(x_j)$  – вероятность появления события  $x_j$ ,  $p(q_i)$  – вес вопроса (сумма весов событий, принадлежащих подмножеству  $q_i$ ),  $c(q_i)$  – цена реализации вопроса.

Требуется решить задачу построения оптимальной последовательности вопросов на множестве  $X$  для разделения всех событий множества, такую при которой время реализации вопросника будет минимальным –  $(C(G(Y, \Gamma)) \rightarrow \min)$ .

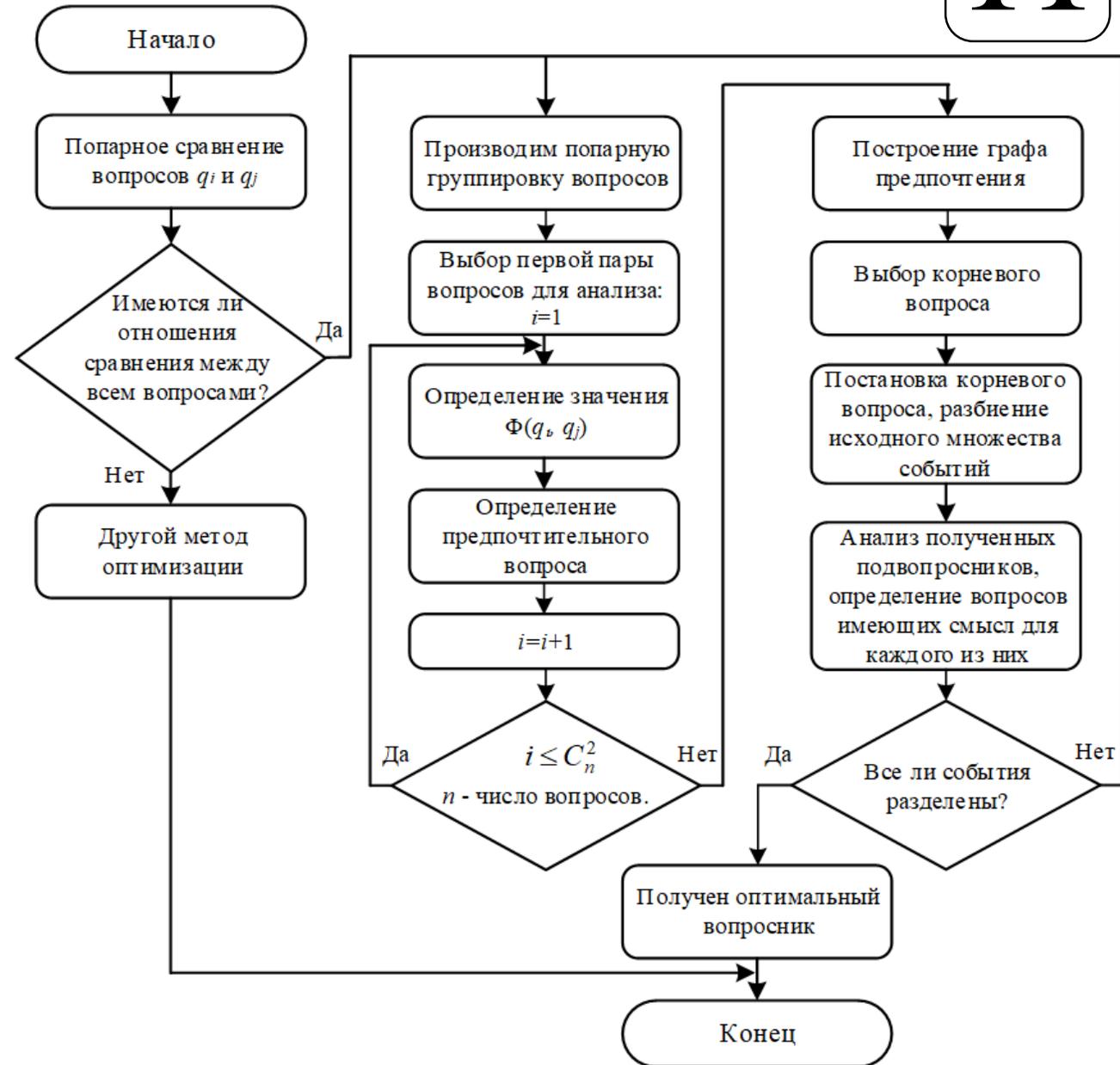
# Метод корневого вопроса

Представленный метод базируется на принципе оптимальности, сформулированном Р. Э. Беллманом.

П. П. Пархоменко в своих трудах по математическому аппарату теории вопросников сформулировал принцип оптимальности Р. Э. Беллмана применительно к построению оптимальной последовательности вопросов:

*оптимальный вопросник состоит из оптимальных на каждом ранге подвопросников (теорема об оптимальных вопросниках).*

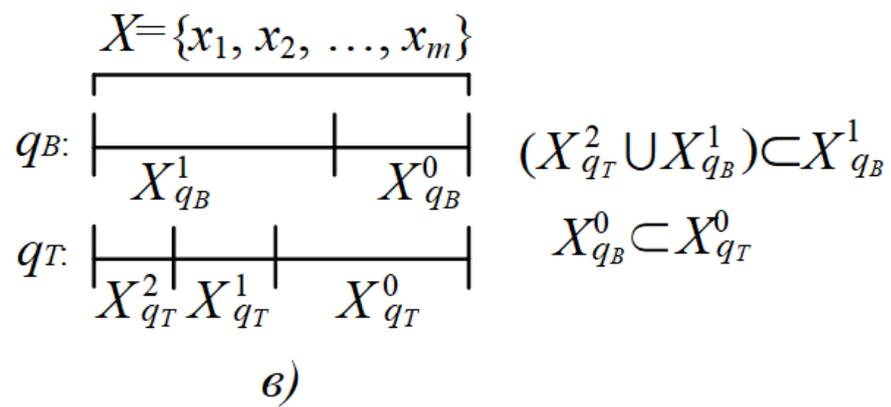
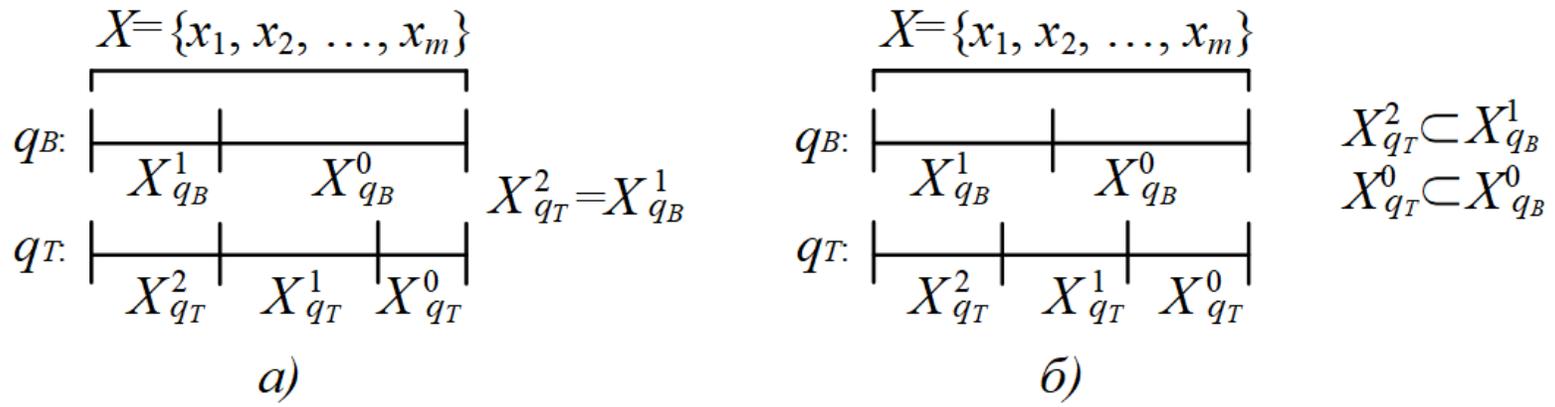
Доказательство оптимальности метода корневого вопроса представлено в работе П.П. Пархоменко, «Основы технической диагностики», стр. 88-89.



# Отношения сравнения

**Определение 2.** Два вопроса  $q_i$  и  $q_j$  находятся в отношениях сравнения в том случае, когда подмножество какого-либо исхода одного из них является собственным подмножеством какого-либо исхода другого вопроса.

## Все возможные отношения сравнения между бинарным и тернарным вопросом



$$\begin{array}{c}
 \overbrace{X = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}} \\
 q_{T1}: \left| \begin{array}{c|c|c} X_{q_{T1}}^2 & X_{q_{T1}}^1 & X_{q_{T1}}^0 \end{array} \right| \\
 q_{T2}: \left| \begin{array}{c|c|c} X_{q_{T2}}^2 & X_{q_{T2}}^1 & X_{q_{T2}}^0 \end{array} \right|
 \end{array}
 \begin{array}{l}
 X_{q_{T1}}^2 = X_{q_{T2}}^2; X_{q_{T1}}^0 \subset X_{q_{T2}}^0 \\
 X_{q_{T2}}^1 \subset X_{q_{T1}}^1
 \end{array}$$

a)

$$\begin{array}{c}
 \overbrace{X = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}} \\
 q_{T1}: \left| \begin{array}{c|c|c} X_{q_{T1}}^2 & X_{q_{T1}}^1 & X_{q_{T1}}^0 \end{array} \right| \\
 q_{T2}: \left| \begin{array}{c|c|c} X_{q_{T2}}^2 & X_{q_{T2}}^1 & X_{q_{T2}}^0 \end{array} \right|
 \end{array}
 \begin{array}{l}
 (X_{q_{T2}}^1 \cup X_{q_{T2}}^0) = X_{q_{T1}}^0 \\
 (X_{q_{T1}}^2 \cup X_{q_{T1}}^1) = X_{q_{T2}}^2
 \end{array}$$

б)

$$\begin{array}{c}
 \overbrace{X = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}} \\
 q_{T1}: \left| \begin{array}{c|c|c} X_{q_{T1}}^2 & X_{q_{T1}}^1 & X_{q_{T1}}^0 \end{array} \right| \\
 q_{T2}: \left| \begin{array}{c|c|c} X_{q_{T2}}^2 & X_{q_{T2}}^1 & X_{q_{T2}}^0 \end{array} \right|
 \end{array}
 \begin{array}{l}
 (X_{q_{T2}}^1 \cup X_{q_{T2}}^0) \subset X_{q_{T1}}^2 \\
 (X_{q_{T1}}^2 \cup X_{q_{T1}}^1) \subset X_{q_{T2}}^0
 \end{array}$$

в)

$$\begin{array}{c}
 \overbrace{X = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}} \\
 q_{T1}: \left| \begin{array}{c|c|c} X_{q_{T1}}^2 & X_{q_{T1}}^1 & X_{q_{T1}}^0 \end{array} \right| \\
 q_{T2}: \left| \begin{array}{c|c|c} X_{q_{T2}}^2 & X_{q_{T2}}^1 & X_{q_{T2}}^0 \end{array} \right|
 \end{array}
 \begin{array}{l}
 X_{q_{T1}}^2 \subset X_{q_{T2}}^2; X_{q_{T1}}^0 \subset X_{q_{T2}}^0 \\
 X_{q_{T2}}^1 \subset X_{q_{T1}}^1
 \end{array}$$

г)

$$\begin{array}{c}
 \overbrace{X = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}} \\
 q_{T1}: \left| \begin{array}{c|c|c} X_{q_{T1}}^2 & X_{q_{T1}}^1 & X_{q_{T1}}^0 \end{array} \right| \\
 q_{T2}: \left| \begin{array}{c|c|c} X_{q_{T2}}^2 & X_{q_{T2}}^1 & X_{q_{T2}}^0 \end{array} \right|
 \end{array}
 \begin{array}{l}
 X_{q_{T2}}^1 \subset X_{q_{T1}}^2; X_{q_{T2}}^0 \subset X_{q_{T1}}^0 \\
 (X_{q_{T2}}^1 \setminus X_{q_{T1}}^1 \cup X_{q_{T2}}^1 \setminus X_{q_{T1}}^0) \subset X_{q_{T2}}^1
 \end{array}$$

д)

# Функции предпочтения

**Определение 3.** Функцией предпочтения называется такая функция, которая показывает, какой из сравниваемых вопросов задавать предпочтительнее (или выгоднее) для поставленной задачи.

Функция предпочтения обозначается как  $\Phi(q_i, q_j)$ . Если  $\Phi(q_i, q_j) < 1$ , то вопрос  $q_i$  предпочтительней вопроса  $q_j$  – ( $q_i > q_j$ ). Если  $\Phi(q_i, q_j) > 1$ , то вопрос  $q_j$  предпочтительней вопроса  $q_i$  – ( $q_i < q_j$ ). При  $\Phi(q_T, q_B) = 1$  вопросы равнозначны.

Выражения для функций предпочтения имеют схожую структуру при сравнении между собой вопросов с различными основаниями.

**Теорема 1.** Обобщённая функция предпочтения  $\Phi(q_1, q_2)$  для двух сравниваемых вопросов с различными основаниями  $a \in \{2, 3, \dots, (n - 1)\}$  вычисляется по формуле:

$$\Phi(q_1, q_2) = \frac{c(q_1) + c(q_2) \sum_{p_i \in (X_{q_1} \setminus X_{q_2})} p_i}{c(q_2) + c(q_1) \sum_{p_j \in (X_{q_2} \setminus X_{q_1})} p_j}. \quad (4)$$

где  $p_{j,i}$  – это весовые коэффициенты событий входящих в подмножества  $X_{q_1} \setminus X_{q_2}$  и  $X_{q_2} \setminus X_{q_1}$ .

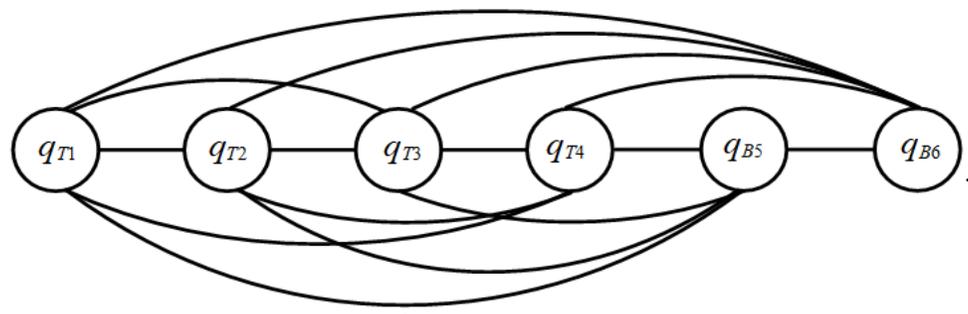
# Пример применения метода корневого вопроса

Таблица 3. Анкета бинарно-тернарного вопросника

$q_i$	$c(q_i)$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$x_8$	$x_9$
$q_{T_1}$	2	0	0	0	0	1	2	2	2	2
$q_{T_2}$	3	0	0	0	1	1	1	2	2	2
$q_{T_3}$	4	0	0	1	1	1	1	1	2	2
$q_{T_4}$	5	0	1	1	1	1	1	1	1	2
$q_{B_5}$	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1
$q_{B_6}$	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1
$p(x_i)$		0,01	0,01	0,05	0,20	0,40	0,30	0,01	0,01	0,01

Шаг 1: Анализ анкеты.

Шаг 2: Построение графа сравнений вопросов.



Граф сравнений

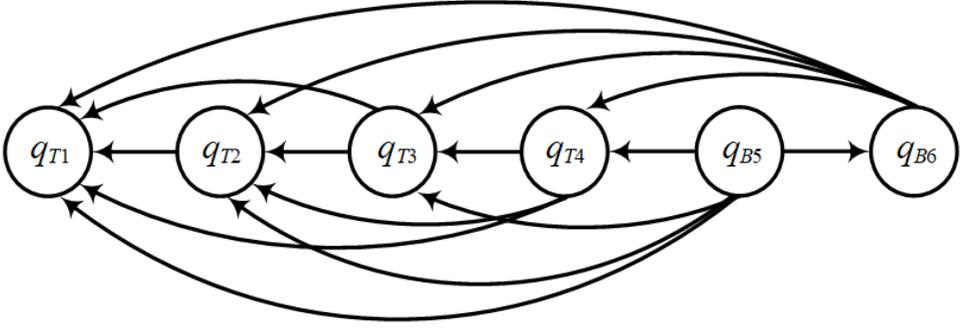
Шаг 3: Для каждой пары сравниваемых вопросов воспользоваться функцией предпочтения и выбрать предпочтительный вопрос.

$$(q_{T_1}, q_{T_2}) = \frac{c(q_{T_1}) + c(q_{T_2}) \sum_{p_i \in X(q_{T_1m})} p_i}{c(q_{T_2}) + c(q_{T_1}) \sum_{p_j \in X(q_{T_2k})} p_j} = \frac{2 + 3 \cdot 0,60}{3 + 2 \cdot 0,90} = 0,79$$

...

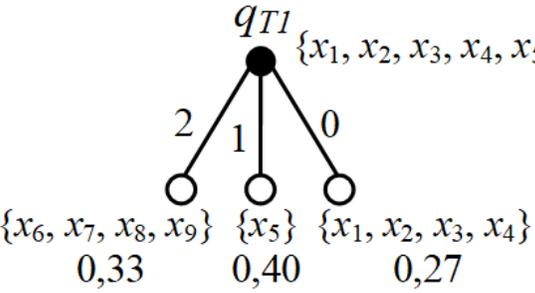
Так как значение  $\Phi(q_{T_1}, q_{T_2}) < 1$ , вопрос  $q_{T_1}$  предпочтительнее вопроса  $q_{T_2}$ :  $q_{T_1} \succ q_{T_2}$ . Аналогично заключаем следующее:  $q_{T_1} \succ q_{T_3}$ ,  $q_{T_1} \succ q_{T_4}$ ,  $q_{T_1} \succ q_{B_5}$ ,  $q_{T_1} \succ y_6$ ,  $q_{T_2} \succ q_{T_3}$ ,  $q_{T_2} \succ q_{T_4}$ ,  $q_{T_2} \succ q_{B_5}$ ,  $q_{T_2} \succ q_{B_6}$ ,  $q_{T_3} \succ q_{T_4}$ ,  $q_{T_3} \succ q_{B_5}$ ,  $q_{T_3} \succ q_{B_6}$ ,  $q_{T_4} \succ q_{B_5}$ ,  $q_{T_4} \succ q_{B_6}$ ,  $q_{B_5} \succ q_{B_6}$ .

**Шаг 4:** Анализ предпочтительности вопросов.



Граф предпочтений

**Шаг 5:** Построение графа предпочтений вопросов.

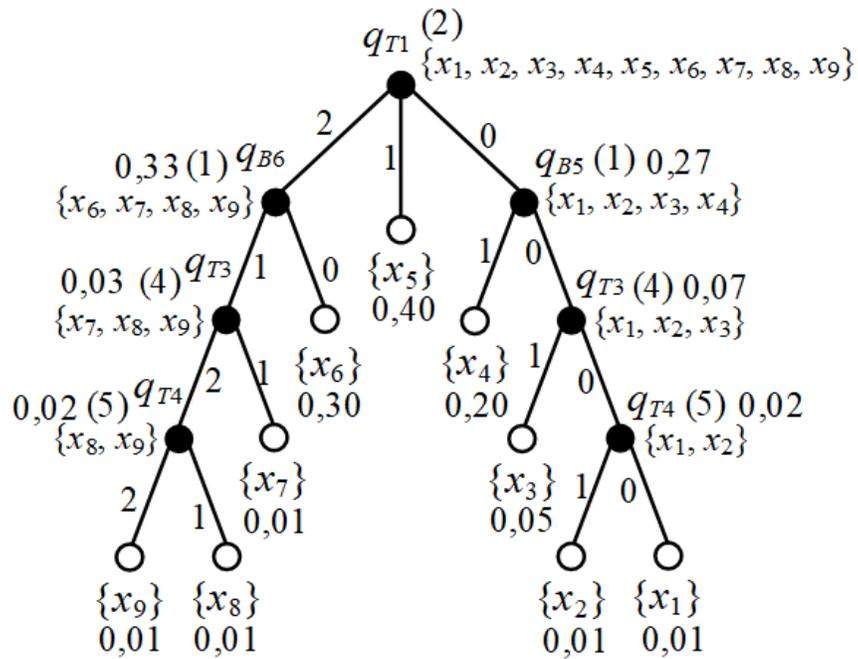


**Шаг 6:** После анализа графа предпочтений производится выбор корневого вопроса.

Описанные выше **шаги 1 - 6** повторяются на образованных подмножествах исхода 2 и 0, и так до тех пор, пока не будет произведено разделение всех событий; вопросы ранее выбранные как корневые в дальнейшем сравнении не участвуют.

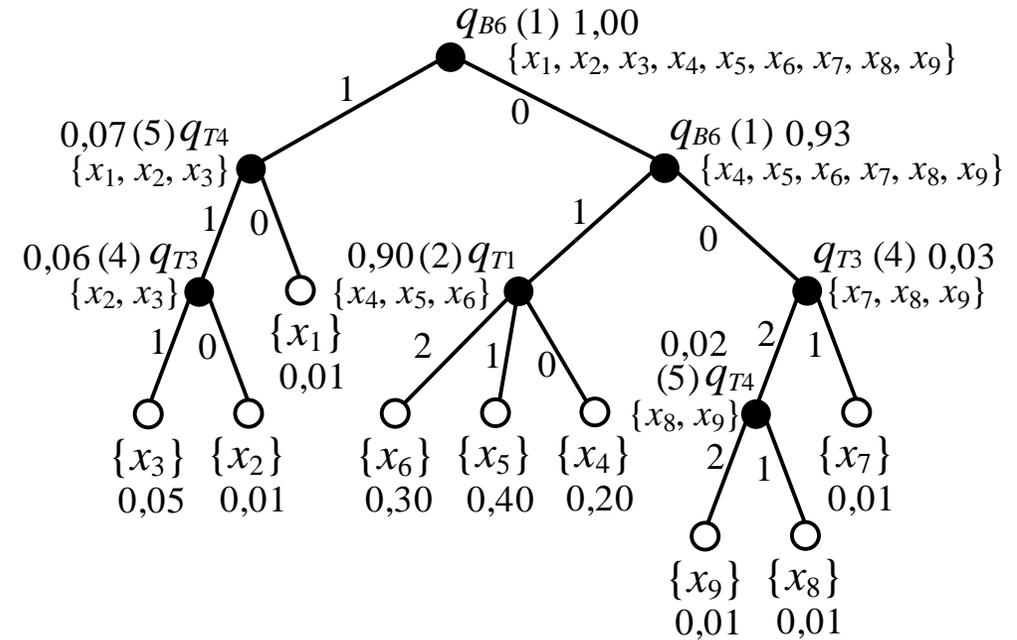
# Результат построения бинарно-тернарного вопросника

17



С применением метода корневого вопроса

$$C(Q_{\text{опт}}) = \sum_{i=1}^n p(q_i)c(q_i) = 2 \cdot 1,00 + 1 \cdot 0,27 + 1 \cdot 0,33 + 4 \cdot 0,07 + 4 \cdot 0,03 + 5 \cdot 0,02 + 5 \cdot 0,02 = 3,20.$$



Без применения методов построения оптимальной последовательности вопросов

$$C(Q) = \sum_{i=1}^n p(q_i)c(q_i) = 1 \cdot 1,00 + 4 \cdot 0,06 + 5 \cdot 0,07 + 5 \cdot 0,02 + 4 \cdot 0,03 + 2 \cdot 0,90 + 1 \cdot 0,93 = 4,54.$$

# Вопросники с вопросами, содержащими ошибки

**Определение 4.** Вопросом, допускающим ошибки, называется вопрос, для которого:

$$\bigcup_{j=0}^{a-1} X_j(q_i) = X ; X_k(q_i) \cap X_p(q_i) |_{k \neq p} \neq \emptyset.$$

Таблица 5. Анкета вопросника с вопросами, допускающими ошибки

$q_i$	$c(q_i)$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$
$q_{T_1}$	1	2	2	×	1	0	0	0
$q_{T_2}$	2	2	1	0	×	×	1	1
$q_{T_3}$	4	×	1	0	2	1	0	×
$q_{T_4}$	3	2	×	0	0	1	2	0
$q_{T_5}$	2	×	×	0	2	1	0	2
$q_{T_6}$	2	0	1	1	0	2	2	2
$p(x_i)$		0,1	0,2	0,3	0,15	0,05	0,05	0,15

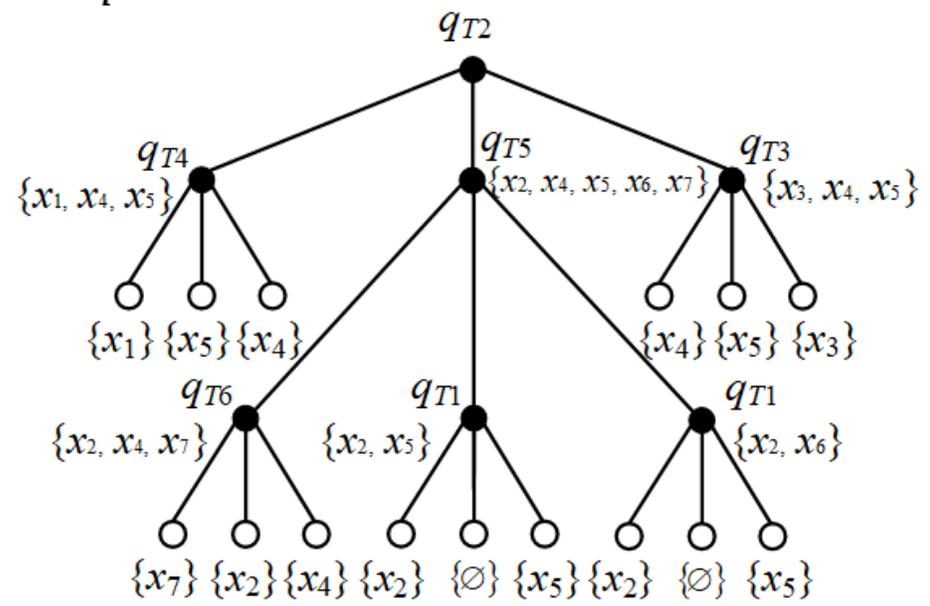


Таблица 6. Функция алгебры логики для построения матрицы различий

$a$	$b$		
	2	1	0
2	0	1	1
1	1	0	1
0	1	1	0

**Определение 5.** Матрицей различий  $D$  называют булеву матрицу размерностью  $R \times C_N^2$ , элементы которой равны 1 только в случае различия пары  $(x_j, x_p)$  вопросом  $q_i$ , или:

$$d_{ijk} = 1 \Leftrightarrow (x_j \in X_S^*(q_i)) \& (x_k \in X_{\bar{S}}^*(q_i)).$$

где,  $i$  – номер вопроса,  $j$  и  $p$  – номера событий, образующих рассматриваемую пару.

# Пример вопросников в системах технической диагностики и мониторинга систем железнодорожной автоматики

Таблица 7. Типовые отказы СЭП

Отказ	Вероятность отказа
	СЭП
<b>Автопереключатель</b>	
$x_1$ – разрегулировка контактов	0,310
$x_2$ – излом контактных колодок	0,028
$x_3$ – излом ножевых колодок	0,015
$x_4$ – излом рычагов	0,001
$x_5$ – излом пружин автопереключателя	0,003
$x_6$ – излом контактной рессорной пружины	0,007
$x_7$ – индеевание контактов	0,080
<b>Фрикционное сцепление</b>	
$x_8$ – разрегулировка	0,090
<b>Контрольные линейки</b>	
$x_9$ – излом	0,006
$x_{10}$ – ослабление крепления	0,004
<b>Шибер</b>	
$x_{11}$ – попадание постороннего предмета	0,001
$x_{12}$ – ослабление крепления детали	0,001

Данные получены из автоматизированной системы учета отказов (в составе системы управления хозяйством автоматики и телемеханики (АСУШ-П))

<b>Монтаж</b>	
$x_{13}$ – обрыв	0,052
$x_{14}$ – нарушение изоляции	0,003
$x_{15}$ – неисправность клеммной колодки	0,010
<b>Курбельный контакт</b>	
$x_{16}$ – неисправность курбельного контакта	0,156
<b>Электродвигатель постоянного тока</b>	
$x_{17}$ – обрыв обмотки статора	0,012
$x_{18}$ – обрыв обмотки якоря	0,035
$x_{19}$ – неисправность щётчного узла	0,090
$x_{20}$ – понижение изоляции	0,017
$x_{21}$ – неисправность коллектора	0,050
$x_{22}$ – обрыв внутреннего монтажа	0,011
<b>Редуктор</b>	
$x_{23}$ – неисправность редуктора	0,018
$\sum x_{i_{сэпj}} =$	
	1

Таблица 8. Вопросы и ответы для вопросника СЭП

Вопрос, $q_i$	Ответ, $x_i$
<p><math>q_0</math> – Каково показание амперметра?</p>	<p>2) Сначала стрелка амперметра делает бросок до 5А, а в течении перевода показание 2А;</p> <p>1) Сначала стрелка амперметра делает бросок, а в течении перевода стрелки значение тока перевода значительно меньше 2А;</p> <p>0) Стрелка неподвижна;</p>
<p><math>q_1</math> – Обнаруживается ли неисправность стрелочного электропривода после визуального осмотра всех частей автопереключателя и контрольных линеек на наличие излома, а также обнаружена ли неисправность шибера типа «попадание постороннего предмета»?</p>	<p>1) Да;</p> <p>0) Нет.</p>
<p><math>q_2</math> – Обнаруживается ли неисправность привода после механической проверки следующих устройств: ослабление крепление контрольных линеек или шибера, неисправность редуктора?</p>	<p>1) Да;</p> <p>0) Нет.</p>
<p><math>q_3</math> – В норме ли сопротивление изоляции монтажа?</p>	<p>1) Да;</p> <p>0) Нет.</p>
<p><math>q_4</math> – Обнаруживается ли неисправность привода после визуального осмотра курбельного контакта?</p>	<p>1) Да;</p> <p>0) Нет.</p>
<p><math>q_5</math> – Обнаруживается ли неисправность при измерении в электродвигателе?</p>	<p>1) Да;</p> <p>0) Нет.</p>

Таблица 9. СЭП: рабочий режим – анкета неисправностей

$q_i$	$c(q_i)$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$x_8$	$x_9$	$x_{10}$	$x_{11}$	$x_{12}$	$x_{13}$	$x_{14}$	$x_{15}$	$x_{16}$	$x_{17}$	$x_{18}$	$x_{19}$	$x_{20}$	$x_{21}$	$x_{22}$	$x_{23}$	
$q_0$	1	2	2	2	2	2	2	2	0	2	2	2	2	2/1	2/1	2/1	1	1	1	1	1	1	1	1	2
$q_1$	23	0	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$q_2$	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
$q_3$	40	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$q_4$	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
$q_5$	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$p(x_i)$		0,310	0,028	0,015	0,001	0,003	0,007	0,080	0,090	0,006	0,004	0,001	0,001	0,052	0,003	0,010	0,156	0,012	0,035	0,090	0,017	0,050	0,011	0,018	

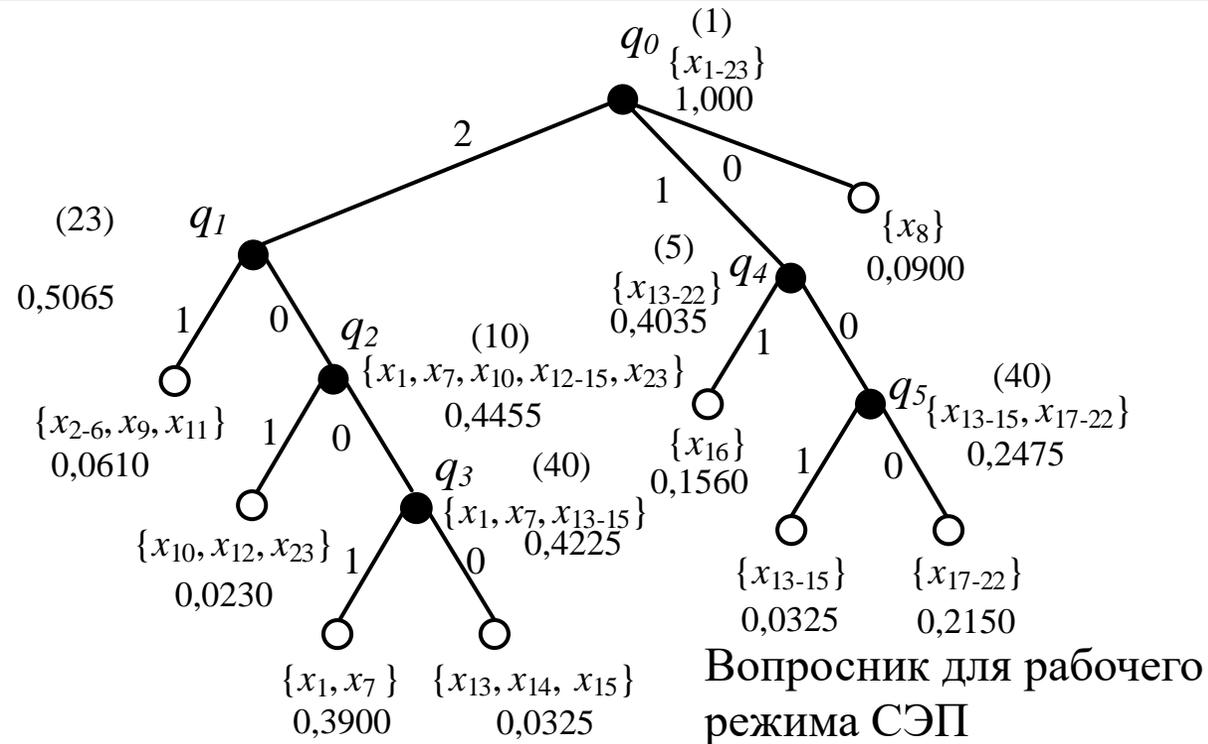
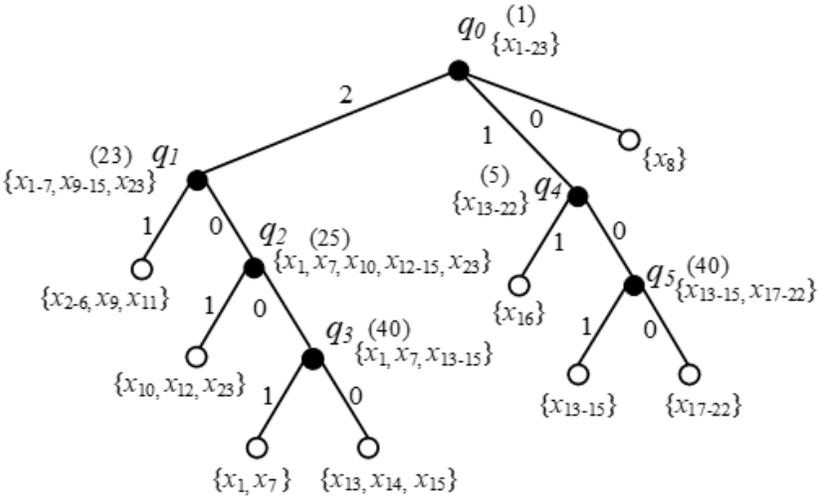
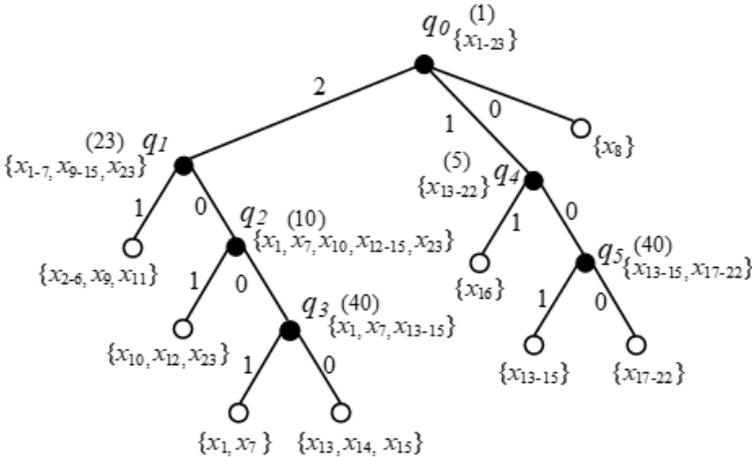
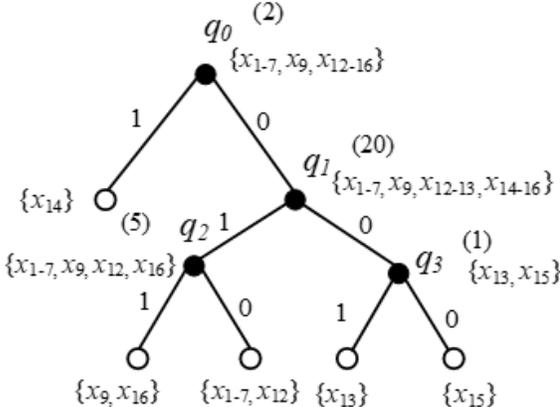


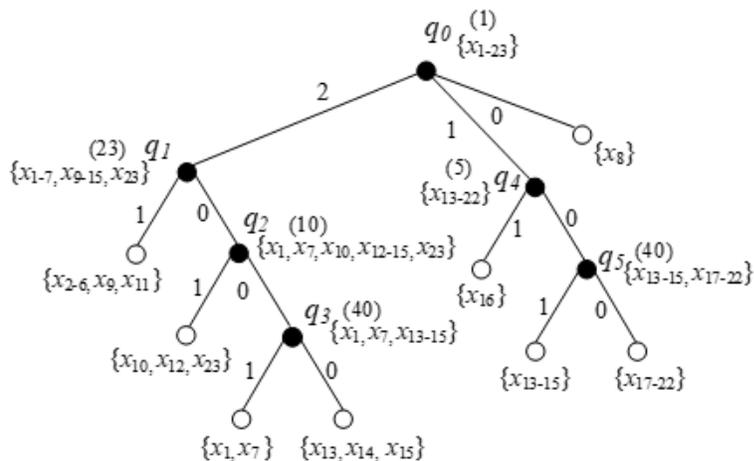
Таблица 10. Примеры алгоритмов диагностирования

Устройство	Виды и примеры алгоритмов диагностирования	
СЭП	<p><u>S-вопросник:</u> Ручные проверки.</p> 	<p><u>Dot-вопросник:</u> Режим перевода стрелки: (В режиме перевода стрелки вопросник будет полным, так как все составляющие участвуют в работе).</p>  <p>Контрольный режим стрелки:</p> 

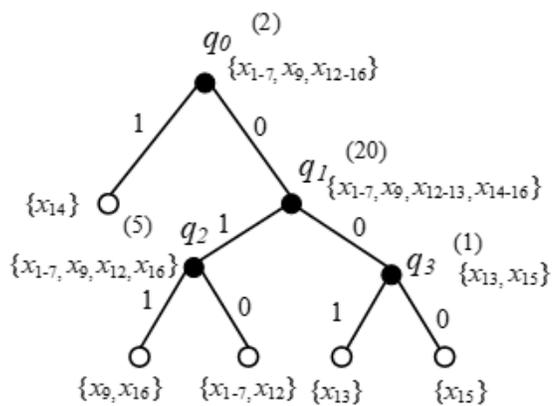
DOi0-вопросник:

Режим перевода стрелки:

(В режиме перевода стрелки вопросник будет полным, так как все составляющие участвуют в работе, с той лишь разницей, что вероятности возникновения события и цены вопросов рассчитываются индивидуально для каждого объекта).

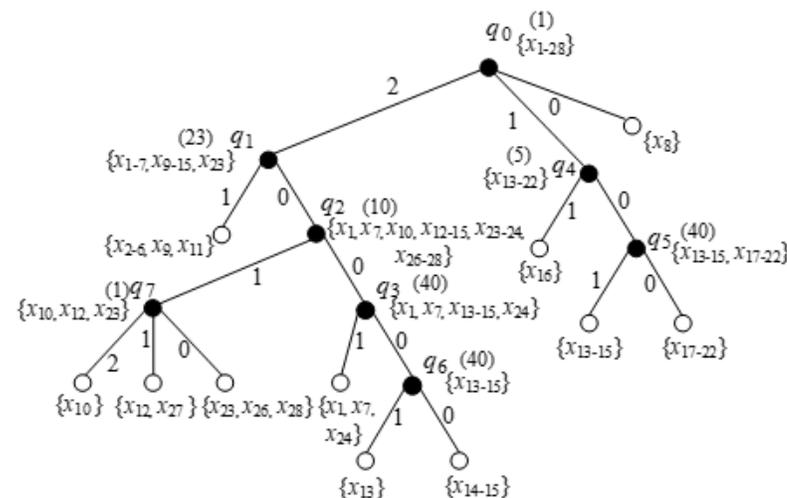


Контрольный режим стрелки: (отличие от DOi заключается в том, что вероятности возникновения события и цены вопросов рассчитываются для каждого объекта индивидуально)

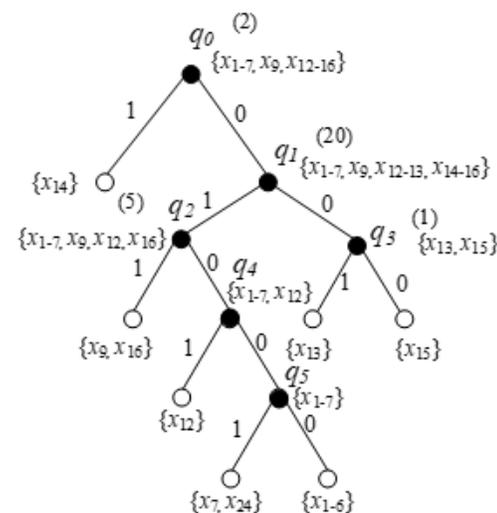


DOi1-вопросник:

(В данном вопроснике, основываясь на дополнительной информации, получаемой о дополнительных параметрах (которые указаны в графе ниже) для режима перевода будет следующий вопросник).



Для контрольного режима:



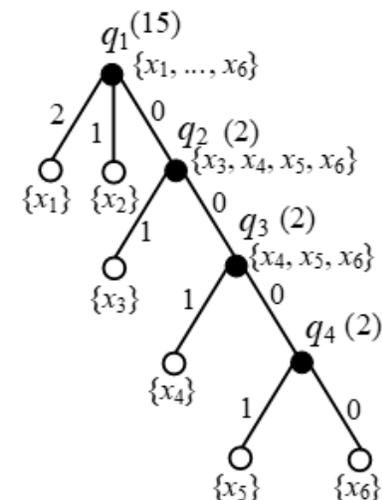
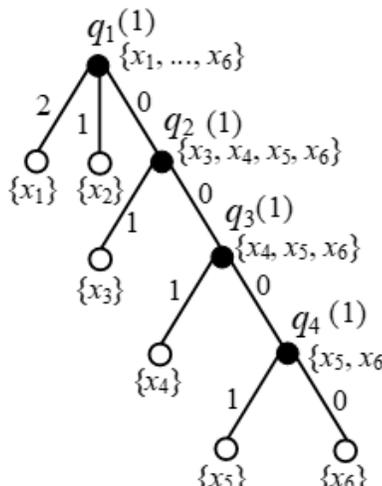
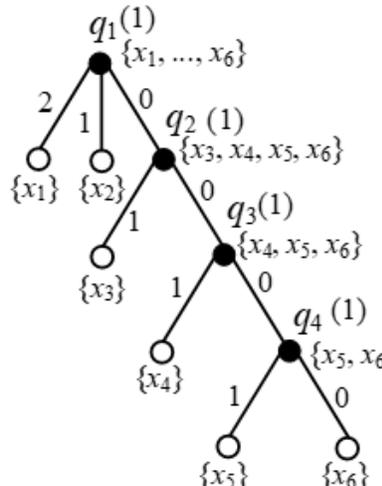
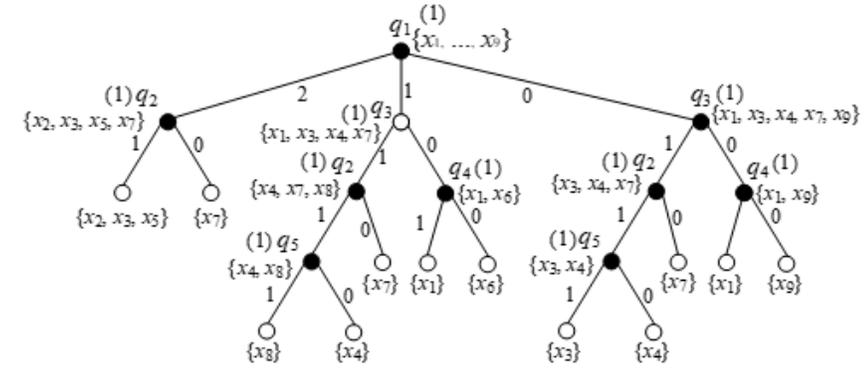
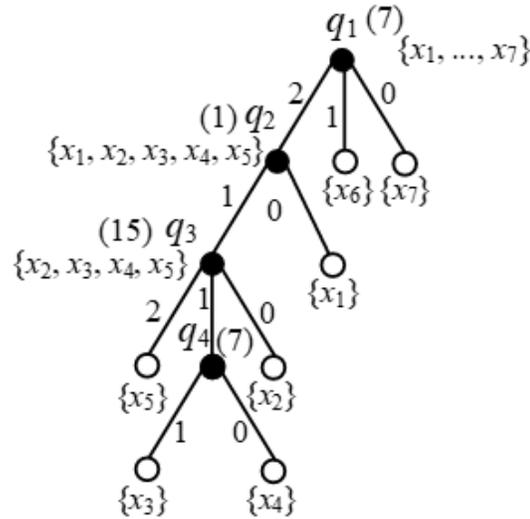
<p>ТРЦ</p>	<p><b><u>S-вопросник:</u></b> Ручные проверки.</p> 	<p><b><u>DOt-вопросник:</u></b> (Отличие от S-вопросника в цене вопросов и использовании информации от СТДМ)</p> 
	<p><b><u>DOi<sup>0</sup>-вопросник:</u></b> (Отличие от <u>DOt</u> в вероятностях событий, так же используется СТДМ).</p> 	<p><b><u>DOi<sup>1</sup>-вопросник:</u></b> (В данном вопросе, основываясь на дополнительной информации, получаемой о дополнительных параметрах (которые указаны в графе ниже) будет следующий вопросник.)</p> 

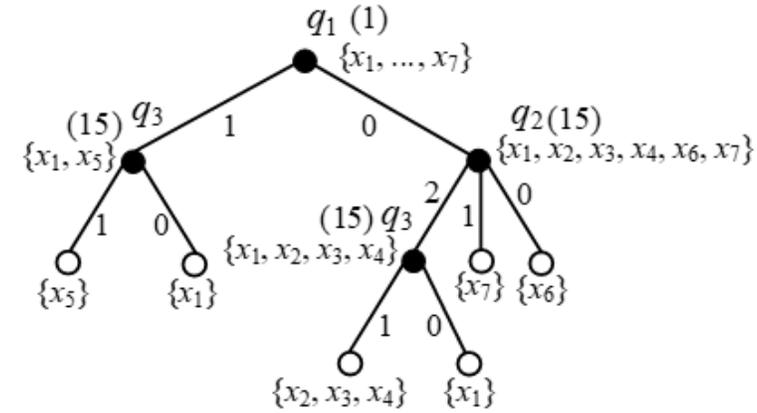
Таблица 10. Примеры алгоритмов диагностирования (Продолжение)

Свет.

S-вопросник:

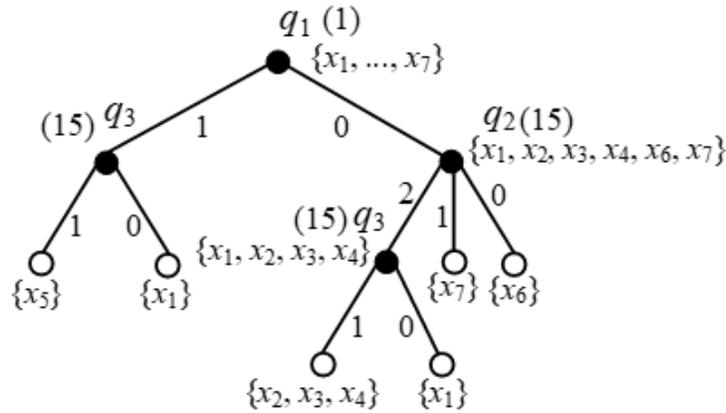


DOt-вопросник:



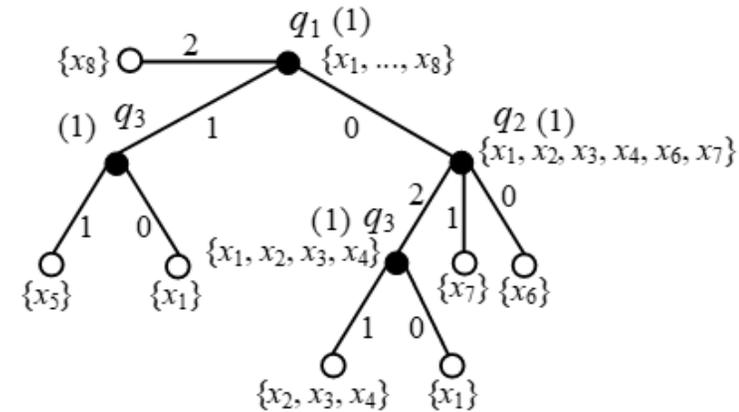
DOi0-вопросник:

Ручные проверки.



DOi1-вопросник:

(В данном вопросе, основываясь на дополнительной информации, получаемой о дополнительных параметрах (которые указаны в графе ниже) будет следующий вопросник).



1. Устройства железнодорожной автоматики разделяются на множества типов  $T = \{T_1, T_2, \dots, T_k\}$  и классов внутри них  $C^{T_i} = \{C_1^{T_i}, C_2^{T_i}, \dots, C_{k_i}^{T_i}\}$ ,  $C^{T_i} \in \{T_i\}$ .
2. Для каждого типа и класса устройств составляется классификатор состояний (конкретные исправное, работоспособное, предотказное, неисправное защитное, неисправное опасное состояния):  $S^{T_i, C^{T_i}} = \{S_1^{T_i, C^{T_i}}, S_2^{T_i, C^{T_i}}, \dots, S_{q_i}^{T_i, C^{T_i}}\}$
3. Каждому состоянию сопоставляется множество диагностических параметров с допустимыми пределами их изменения для точной идентификации нахождения объекта в данном состоянии.
4. Для каждого конкретного объекта автоматики из заданного типа и класса осуществляется настройка граничных значений диагностических параметров, например, в автоматическом режиме с помощью самонастраиваемых сетей (автокодировщиков).
5. Для каждого конкретного объекта мониторинга автоматически выбирается множество допустимых вопросов согласно действующему режиму эксплуатации, а также формируются массивы цен вопросов и весов событий. Первоначально это делается, исходя из общих статистических данных, широко известных для каждого из устройств. В процессе эксплуатации системы мониторинга для конкретного объекта автоматики происходит корректировка значений цен вопросов и весов событий с учетом накапливаемых исторических данных о нем.

# Заключение

Использование теории вопросников позволяет совершенствовать программные средства аналитики в составе СТДМ и повышать их технологическую эффективность, достоверность диагностирования и, как следствие, *сокращать и оптимизировать время обслуживания и ремонтов* устройств автоматизации.

Эффект достигается за счет нескольких составляющих:

Первая часть заключается в сокращении количества трудозатрат на обслуживание регламентным методом и переход на обслуживание по состоянию.

Вторая часть эффекта заключается в сокращении времени на поиск отказа при его возникновении. В данном случае имеется возможность предупредить возникновение отказа, определив его вероятное возникновение на стадии зарождения (для постепенных отказов на этапе предотказа). В таком случае при обнаружении отказа на стадии предотказа можно построить план по его недопущению в отдельно отведённое время. В случае невозможности прогнозирования отказа можно отследить его место при возникновении. Сокращается только время на поиск отказа, но не на его устранение, а это в среднем 60-70% от времени устранения отказа при ручном поиске без использования аналитического программного обеспечения и СППР.

Третья часть эффекта от внедрения является стратегической, или накопительной. Заложив единовременно финансы на интеграцию в ПО СТДМ математического аппарата автоматизации анализа диагностических данных со временем проявляется эффект от не допущенных отказов (то есть от тех отказов которые могли бы случиться и принести финансовые потери, но не случились). Внедрение такого математического аппарата на примере СТДМ для устройств железнодорожной автоматики позволяет сократить как время устранения возникшего отказа так и стоимость содержания на 30 – 40% по сравнению с используемыми СТДМ.



РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ТРАНСПОРТА (МИИТ)

**ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ ВОПРОСНИКОВ  
ДЛЯ СИНТЕЗА СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ  
ПРИ ПОИСКЕ НЕИСПРАВНОСТЕЙ В УСТРОЙСТВАХ  
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ**

Контактная информация:

*Валерий Вячеславович Хорошев – [hvv91@icloud.com](mailto:hvv91@icloud.com)*

*Дмитрий Викторович Ефанов – [TrES-4b@yandex.ru](mailto:TrES-4b@yandex.ru)*