

## СИНТЕЗ МОДЕЛИ ВЫБОРА ПРИОРИТЕТНЫХ ТЕМАТИЧЕСКИХ НАПРАВЛЕНИЙ ПРИ СОЗДАНИИ ПРОГНОЗОВ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ НА ОСНОВЕ МЕТОДОЛОГИИ ФОРСАЙТ

*Описаны характерные признаки национальной форсайт-методики выбора приоритетных направлений при прогнозировании научно-технического развития (НТР). На этой основе сформулирован ряд критериев для построения классификационной модели (КМ) приоритетов НТР. Приведены содержательная и формальная постановки задач синтеза модели выбора приоритетных тематических направлений при прогнозировании НТР на основе национального вида форсайта. Предложен подход к построению КМ НТР в виде двухуровневой иерархической системы. Конкретизация разработанной КМ проведена при помощи Joiner-сети, которая управляет «включением» собственного процесса и выдачей синхронизирующих событий другим элементам сети.*

*Ключевые слова: форсайт-методика, Joiner-сеть, прогнозирование научно-технического развития.*

**Введение.** В настоящее время особенностью реализации форсайт-проектов на национальном уровне является с одной стороны необходимость комбинации различных методов, входящих в состав методологии Форсайт [1], а с другой – необходимость привлечения значительного числа экспертов. Анализ публикаций отечественных и зарубежных источников [2-8], посвященных исследованию теоретических и практических аспектов применения методологии Форсайт, показал, что на сегодня отсутствует единая модель Форсайта, каждая страна адаптирует ее к своим условиям с учетом национальных интересов, используя при этом различные методики прогнозирования будущего. Так, в проведенном в Украине прогнозно-аналитическом исследовании, в рамках утвержденной Кабинетом Министров Украины в 2005-2006 годах Государственной программы по прогнозированию научно-технологического и инновационного развития на 2004-2006 годы [9], участвовало более 700 экспертов. Национальная форсайт-методика прогнозно-аналитических исследований [2], составленная Б.А. Малицким и др., основана на анкетировании групп экспертов, при этом компьютеризация процессов сведена лишь к фиксации данных от экспертов и статистической обработке этих данных. Автором были проанализированы пути автоматизации каждого из четырех этапов национальной форсайт-методики [10-13], и выявлено, что существует необходимость дальнейшего исследования проблемы, связанной с автоматизацией методологии Форсайт.

*Цель данной статьи* состоит в описании процесса синтеза математических моделей выбора приоритетных тематических направлений (ТН) при прогнозировании научно-технического развития (НТР), с использованием основных положений теорий автоматов и многоуровневых иерархических систем для автоматизации как национальной форсайт-методики в целом, так и каждого из ее этапов.

**Постановка задачи.** В качестве исходных данных для автоматизации украинского форсайт-проекта выбора приоритетов НТР выступает национальная форсайт-методика прогнозно-аналитических исследований. Обсуждаемая методика включает ряд последовательных этапов, к которым относятся: формирование экспертных панелей; формирование исходного перечня ТН; оценка и уточнение перечня ТН; согласование и утверждение приоритетных направлений.

Для решения задачи необходимо разработать формальные средства представления процесса принятия решений на каждом этапе национальной форсайт-методики, путем использования адекватных математических средств.

В результате решения задачи будет создана модель компьютерной реализации национальной форсайт-методики выбора приоритетов при прогнозировании НТР в виде последовательности упорядоченного набора этапов и совокупности методов их компьютерной реализации. Реализация указанной модели даст возможность повысить эффективность форсайт-исследований за счет перехода от эвристических процедур к их строгому представлению, а также к комплексной компьютеризации процесса.

#### **Основной материал.**

Для компьютерной реализации национальной форсайт-методики, представляющей собой процесс выбора приоритетов при прогнозировании НТР необходимо провести ее формализацию, путем разработки модели, с известной степенью адекватности отражающей все этапы форсайт-проекта. Важным и основным критерием выбора типа модели являются характеристики объекта моделирования.

Национальная форсайт-методика выбора приоритетов при прогнозировании НТР в Украине состоит из множества взаимодействующих составляющих - подпроцессов (этапов форсайт-проекта) и обладает следующим рядом основных свойств:

- иерархичности - действия подсистем верхнего уровня зависят от фактического исполнения нижними уровнями своих функций;
- дискретности - взаимосвязь между элементами системы (подпроцессами) осуществляется последовательно;

– детерминированности – все переходы между элементами системы строго определены, т.е. переход к следующему происходит при условии успешного выполнения предыдущего подпроцесса.

На основании выделенных характеристик национальной форсайт-методики необходимо выбрать особый математический аппарат, который бы описывал иерархичность и учитывал дискретность, для этого целесообразным является проведение концептуального моделирования, т.к. построенная без достаточного содержательного базиса модель может оказаться непригодной к использованию. Концептуальная модель позволит выявить взаимосвязи между элементами системы (подпроцессами), возможные состояния каждого элемента и отношения между ними.

Синтез концептуальной модели национальной форсайт-методики

Рассмотрим национальную форсайт-методику как двухуровневую систему принятия решений (рис. 1) [14-16], имеющую единственный вышестоящий (координирующий) элемент  $D_0$ , обеспечивающий последовательную реализацию этапов национальной форсайт-методики, и  $n$  подчиненных ему (нижестоящих) элементов  $D_1, D_2, D_3, D_4$ , которые, в свою очередь, управляют запуском соответствующих процедур  $F$ , предусмотренных методикой проведения форсайт-исследований.

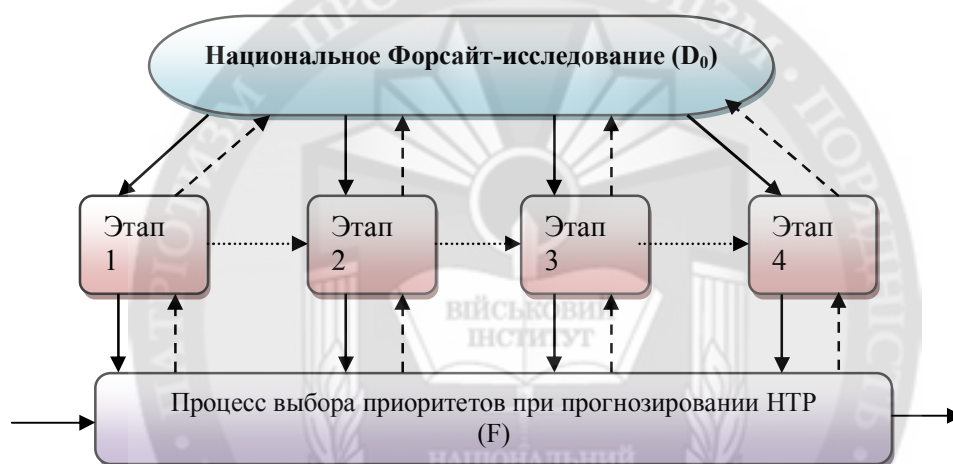


Рис. 1. Двухуровневая иерархическая структура национальной форсайт-методики по выбору приоритетов при прогнозировании НТР

Взаимодействие между вышестоящим элементом и каждым из нижестоящих элементов таково, что действия одного из них зависят от действий другого, как это показано на рис. 1.

Для описания динамических свойств с помощью концептуальной модели (КМ), введем следующие понятия:

1) время  $T$ , представляющее собой линейно упорядоченное отношением « $\leq$ » множество моментов времени  $t$ :

$$T = \langle T^0 = \{t\}, \leq : t \in [t_0, t], \rangle \quad (1)$$

где  $t_0$  – начальный момент времени в интервале  $[t_0, t]$ ;

2) мгновенное состояние единичной системы  $\Pi_R$  за период времени  $T$ :

$$\Pi_R^T \subset \Pi_R \times T : \Pi_R^T = \{\Pi_R^t\} \wedge P_T(\Pi_R^T) = \{t\} \subseteq T, \quad (2)$$

где  $P_T(\Pi_R^T)$  – проекция множества  $\Pi_R^T$  на множество  $T$ , т.е. множество тех элементов из  $T$ , которые являются проекциями элементов из  $(\Pi_R^T)$  на  $T$ . Для пары  $\Pi_R^t = (\Pi_R, t)$  проекцией элемента  $\Pi_R^T$  на множество  $T$  служит элемент  $t$ . Мгновенное состояние элемента системы  $\Pi_R \in \Pi_R^T$  – совершение в момент времени  $t$  некоторого

события, в котором участвует элемент. Как правило, событием является появление элемента на входе или выходе системы.

Используя введенные понятия, построим функциональную часть КМ с мгновенными состояниями  $\Pi_R^{\Phi T}$  для некоторой единичной системы  $\Pi_R$  следующим образом:

$$\Pi_R^{\Phi T} \subset V(\Pi_{R_0}^T \times \Pi_{R_1}^T \times \Pi_{R_2}^T) \quad (3)$$

В частном случае  $\Pi_R^T$  может быть задана отображением,

$$\Pi_R^T : (\Pi_{R_0}^T \times \Pi_{R_1}^T) \rightarrow \Pi_{R_2}^T, \quad (4)$$

показывающим, что конечное состояние  $\Pi_{R_2}^T$  любого из этапов национальной форсайт-методики – функция от его начального состояния  $\Pi_{R_0}^T$  и управляющего воздействия  $\Pi_{R_1}^T$ , указывающего заданные состояния системы.

В  $\Pi_{R_1}^T$  выделим переходы состояний процесса как множество отношений  $\Pi_{R_1}^{T_1}$

$$\Pi_{R_1}^{T_1} \subset (\Pi_{R_1}^{t_1} \times \Pi_{R_0}^T \times \Pi_{R_1}^{t_2}) : \Pi_{R_1}^{t_j} \in \Pi_{R_1}^T \wedge T_1 \in T. \quad (5)$$

Тогда КМ будет описывать функциональную модель национальной форсайт-методики с переходами состояний. Если для  $\Pi_{R_1}^{T_1}$  задано отображение

$$\Pi_{R_1}^{T_1} : (\Pi_{R_1}^{t_1} \times \Pi_{R_0}^T) \rightarrow \Pi_{R_1}^{t_2}, \quad (6)$$

то в соответствии с ним управляющее воздействие при реализации любого из этапов национальной форсайт-методики для момента времени  $t_2$  является функцией от воздействия в момент времени  $t_1 < t_2$  и от состояний системы в интервале  $T_1 \subset T$ .

Для получения моделей реализации отдельных этапов национальной форсайт-методики с временными зависимостями необходимо свернуть множество  $\{\Pi_{R_j}^t : j \in \{0, 1, 2\}\}$  мгновенных состояний за интервал времени  $T_1 = [t_0, t] \subset T$  в соответствии с многозначным отображением  $\Gamma_{\Pi_{R_j}}(t)$ :

$$\Gamma_{\Pi_{R_j}}(\bar{t}) \subset \Pi_{R_j}^{T_1} = \{\Pi_{R_j}^t\}, \quad (7)$$

где  $\Pi_{R_j}(\bar{t})$  – интегральное состояние любого из этапов форсайта в конце временного интервала.

Таким образом, функциональную часть концептуальной модели форсайта с временными зависимостями можно представить в виде следующего отображения, представляющего собой выходную функцию:

$$\Pi_R(t) : (\Pi_{R_1}^t \times \Pi_{R_0}(t)) \rightarrow \Pi_{R_2}(t). \quad (8)$$

Выходная функция позволяет определить конечное интегральное состояние этапа  $\Pi_{R_2}(t)$  в зависимости от его начального состояния  $\Pi_{R_0}^t(t)$  и полученного объектом управляющего воздействия  $\Pi_{R_1}^t(t)$ .

Для обобщения описанных выше моделей, введем:

1) концепт  $S_{WR_1}$  который обозначает входное воздействие на R-й этап, для  $W=1$  соответствующее концептам  $\Pi_{R_1}^T, \Pi_{R_2}^T$ , для  $W=2$  концептам  $\Pi_{R_1}^{t_1}, \Pi_{R_1}^{t_2}, \Pi_{R_2}^T$ , для  $W=3$  концептам  $\Pi_{R_1}^t, \Pi_{R_2}(t)$ ;

2) концепт  $S_{WR_2}$ , который обозначает выходную величину R-го этапа, отвечающую его фактическому состоянию (концепты  $\Pi_{R_0}^T, \Pi_{R_0}(t)$ ). Учитывая, что входное воздействие, определяющее заданное состояние этапа, и выходная величина представляются в системах управления в виде текстов, описываемых концептом  $DD_{WR}$ , синтезируем концептуальную модель состояния национальной форсайт-методики:

$$S_{WR} \subset B(S_{WR} \times DD_{WR}) : S_{WR} \subset \Pi_{WR} \wedge DD_{WR} \subset DD, \quad (9)$$

где  $\Pi_{WR}$  – методная конкретизация.

Проведем замену  $R \mapsto WR$ . В результате концептуальная модель будет иметь следующий вид:

$$\begin{aligned} \Pi_{WR} &\subset B(\Pi_{WR}^{\Phi} \times \Pi_{WR}^M) : \\ \Pi_{WR}^{\Phi} &\subset B(SS_{WR_1} \times SS_{WR_2}) : SS_{WR_j} \subset SS_{WR} \\ \alpha_{WR} & \mid \\ \Pi_{WR}^M &\subset B(p_{WR} \times M_{WR}) : \alpha_{WR}^{pM}. \end{aligned} \quad (10)$$

где  $\Pi_{WR}^{\Phi}, \Pi_{WR}^M$  – функциональная и методная части модели форсайт-проекта;

$\alpha_{WR}, \alpha_{WR}^{pM}$  — условия совместности;

$p_{WR}$  – концепт для описания преобразователя входных воздействий  $SS_{WR_1}$  в его выходную величину  $SS_{WR_2}$ ;

$M_{WR}$  – концепт для описания технологии преобразования.

Управляющее воздействие поступает на вход соответствующего этапа в момент, когда он находится в некотором начальном состоянии, а после реализации воздействия данный этап должен перейти в требуемое конечное состояние. Если бы не было случайных возмущений, то фактическое состояние любого этапа однозначно определялось бы состоянием  $SS_{WR_1}$ . Для реальных условий необходимо учитывать случайные возмущения при выработке управляющих воздействий.

Методная часть модели  $\Pi_{WR}^M$  предназначена для описания возможности на любом этапе достигать определенных значений выходной величины для фиксированных начального состояния и управляющего воздействия. При этом концепт преобразователя  $p_{WR}$  должен описывать отображение допустимых текстов  $DD_{WR_1}^p$  в допустимое содержание  $S_{WR_1}^p$  заданных входных воздействий  $S_{WR_1}^p$  и, наоборот, отображение содержания имеющегося состояния любого из этапов, выраженного выходной величиной  $S_{WR_2}^p$ , в представляющий ее допустимый текст  $DD_{WR_2}^p$ .

Конкретизация разработанной концептуальной модели компьютерной реализации национальной форсайт-методики

Представим каждый этап национальной форсайт-методики в виде поведенческой единицы – автомата. Результаты работы каждого автомата поступают на вход других поведенческих элементов системы национальной форсайт-методики, которые также реализованы автоматами. Связность и направленность передачи выходных результатов в качестве входных алфавитов определяется Joiner-сетью (JN), которая управляет «включением» собственного процесса и выдачей синхронизирующих событий другим элементам сети.

Каждый автомат описывается четверкой объектов [17]:

$$A = \langle \psi, \varphi, P, R \rangle \quad (11)$$

где  $P(p_1, \dots, p_n)$  - множество входных и выходных позиций;

$\psi(p_1, \dots, p_n)$  - пусковая функция, определяет условия запуска перехода и соответствующего ему подпроцесса (этапа национальной форсайт-методики).  $\psi(p_1, \dots, p_n) = 1$ , где значение позиции  $p_i = 1$  - соответствующее событие возникло,  $p_i = 0$  - событие не возникло, либо было «стерто» из памяти позиции;

$\varphi(p_1, \dots, p_n)$  - флаговая функция, присваивающая новые значения всем позициям (входным и выходным) после окончания процесса;

$R(r_1, \dots, r_n)$  - регистр памяти позиций, где запоминаются значения  $\{0,1\}$ , сигнализирующие о возникновении (невозникновении) соответствующих событий.

Начало  $S_0$  и завершение  $S_p$  определенного этапа служат дополнительными процедурами контроля, ожидания и проверки события ( $\psi = 1$ ), а  $S_p$  - рабочая фаза процесса. События  $\psi = 1$  - процесс запущен и  $P=1$  выполнение процесса завершено, контролируют начало и конец этапа, как процесса, и являются внутренними для перехода. Событие  $\varphi_{S_0}$  фиксирует момент окончания процедуры ожидания и включения рабочей фазы процесса ( $S_p$ ).

На рис. 2 представлена внутренняя структура любого этапа национальной форсайт-методики в виде JN [18]. Начало этапа -  $S_0$ , а событие  $\psi = 1$  контролирует начало этапа  $S_0$ . Окончание этапа  $S$  -  $S_p$ , а событие  $P=1$  контролирует его окончание.

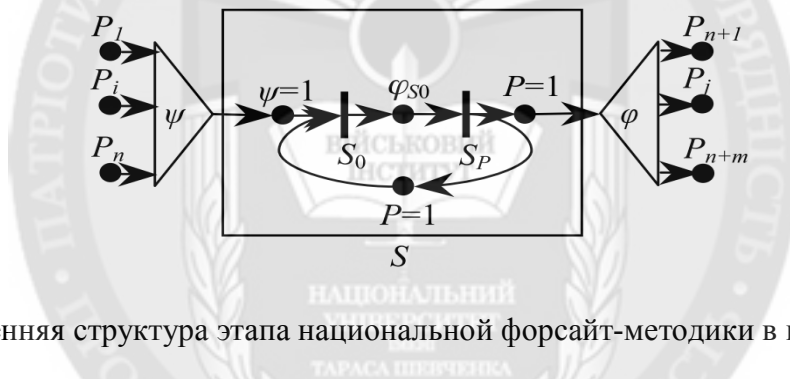


Рис. 2. Внутренняя структура этапа национальной форсайт-методики в виде Joiner-сети

Формально переходу в JN будет соответствовать элементарный конечный автомат с состояниями:  $S_0$  – процесс в режиме ожидания;  $S_p$  – процесс в режиме работы.

**Выводы.** Приведена содержательная и формальная постановки задачи синтеза модели компьютерной реализации национальной форсайт-методики по выбору приоритетов при прогнозировании НТР.

Разработана концептуальная модель национальной форсайт-методики, позволяющая учесть дискретность и детерминированность, а также описать иерархичность национальной форсайт-методики.

Разработана событийная модель по выбору тематических направлений при создании прогнозов научно-технического развития на основе методологии Форсайт, которая в отличие от известных, основана на процессном подходе к принятию решений, что дает возможность перехода от эвристических процедур к их строгому представлению для дальнейшей компьютеризации процесса прогнозирования.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Шелюбская, Н.В. Форсайт – механизм определения приоритетов формирования общества знаний стран Западной Европы [Текст] / Н.В. Шелюбская. - К.: Фенікс, 2007. – 60 с.
2. Маліцький, Б.А. Методичні рекомендації щодо проведення прогнозно-аналітичного дослідження в рамках Державної програми прогнозування науково-технологічного та інноваційного розвитку України [Текст] / Б.А. Маліцький, О.С. Попович В.П. Соловйов - К.:Фенікс, 2004. - 52 с.

3. Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки [Текст]: закон України від 11 липня 2001р. № 2623-III // Відомості Верховної Ради України. 2001. — № 48. — С. 253.
4. Navas, A. Foresight in the Countries of Central and Eastern Europe [Text] / A. Navas, M. Keenan // The Handbook of Technology Foresight. - Cheltenham: Edward Elgar, 2008. – P. 44-88.
5. Проект Концепции долгосрочного прогноза научно-технологического развития Российской Федерации на период до 2025 года. — Материалы рабочей группы, М.: 2006.
6. Johnston R., Foresight in Industrialising Asia [Text] / R. Johnston, C. Sripaipan // The Handbook of Technology Foresight. - Cheltenham: Edward Elgar, 2008. – P. 333-356.
7. Loveridge, D. United Kingdom Foresight Programme [Text] /D. Loveridge, L. Georghiou, M. Neveda. - PREST. — University of Manchester, 2001 – 200р.
8. Cuhls, K. Foresight in Germany [Text] / K. Cuhls // The Handbook of Technology Foresight. - Cheltenham: Edward Elgar, 2008 – P. 256-286.
9. Про затвердження Державної програми прогнозування науково-технологічного та інноваційного розвитку на 2004—2006 роки [Текст]: постанова Кабінету Міністрів України від 25 серпня 2004 р. № 1086
10. Данова, М.А. Проблемы комплексной компьютеризации процесса прогнозирования научно-технического развития региона [Текст] / М.А. Данова, И.В. Шостак // Радиоэлектронні і комп'ютерні системи. – 2012.- № 7(59). — С. 236-240.
11. Данова, М.А. Онтологический подход к комплексной компьютеризации процесса прогнозирования научно-технического развития региона [Текст] / М.А. Данова, И.В. Шостак // Сучасні інформаційні технології в економіці та управлінні підприємствами, програмами та проектами: тез. доп. X Міжнарод. наук.-практ. конф. 10-16 вересня 2012 р. – Алушта, 2012- С. 60-61.
12. Данова, М.А. Подход к автоматизации процесса прогнозирования научно-технического развития региона на основе форсайт технологии [Текст] / М.А. Данова, И.В. Шостак // Зб. наук. праць військового інституту КНУ ім. Т.Г. Шевченко. – К., 2012. – Вип. 38. – С. 151-154.
13. Данова, М.А. Вопросы компьютеризации процесса прогнозирования научно-технического развития крупномасштабных объектов на основе технологии форсайт [Текст] / М.А. Данова // Сучасні інформаційні технології в економіці та управлінні підприємствами, програмами та проектами: тез. доп. XI Міжнарод. наук.-практ. конф. 08-13 вересня 2013 р. – Рибач'є, 2013. - С. 16.
14. Бурков, В.Н. Модели и механизмы функционирования иерархических систем (обзор) [Текст] / В.Н. Бурков, И.М. Макаров, В.Б. Соколов // Автоматика и телемеханика. – 1977. - №11. - С.106-131.
15. Павловский, Ю.Н. Агрегирование сложных моделей и построение иерархических систем управления [Текст] / Ю.Н. Павловский // Сб. «Исследование операций», ВЦ АН СССР М.: – 1974. - Вып.4. - С.3-38.
16. Findeisen, W. Two-level control and coordination for dynamical systems [Text] / W. Findeisen, K. Malinowski // Archiwum automatiki i telemechaniki. – 1998. - Т. XXIV, №1. - P.3-27.
17. Карпов, Ю.Г. Теория автоматов [Текст] / Ю.Г. Карпов – Спб.:Питер, 2003 – 208с.
18. Питерсон, Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем [Текст] / Дж. Питерсон -М.:Мир, 1984. - 264с.

Рецензент: д-р техн. наук, проф., зав. каф. економіки и маркетинга Вартанян В.М.,  
Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.

Данова М.А.

## **СИНТЕЗ МОДЕЛІ ВИБОРУ ПРІОРИТЕТНИХ ТЕМАТИЧНИХ НАПРАВЛЕНЬ ПРИ СТВОРЕННІ ПРОГНОЗІВ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОГО РОЗВИТКУ НА ОСНОВІ МЕТОДОЛОГІЇ ФОРСАЙТ**

*Описано характерні ознаки національної форсайт-методики вибору пріоритетних напрямків при прогнозуванні науково-технічного розвитку (НТР). На цій основі сформульований ряд критеріїв для побудови класифікаційної моделі (КМ) пріоритетів НТР. Наведено змістовну і формальну постановки задач синтезу моделі вибору пріоритетних тематичних напрямків при прогнозуванні НТР на основі національного виду форсайта. Запропоновано підхід до побудови КМ у вигляді дворівневої ієрархічної системи. Конкретизація розробленої КМ проведена за допомогою Joiner-мережі, яка управляє «включенням» власного процесу і видачею синхронізуючих подій іншим елементам мережі.*

*Ключові слова: форсайт-методика, Joiner-мережа.*

Danova M.A.

**SYNTHESIS SELECTION MODEL THEMATIC PRIORITY DIRECTIONS WHEN CREATING  
PREDICTIONS OF TECHNOLOGICAL PROGRESS BASED ON THE METHODOLOGY  
FORESIGHT**

*Given the characteristics of the national foresight technique for selecting priority directions in the prediction of scientific and technological development (STD). On this basis, formulated a set of criteria for the construction of the classification model (QM) STD priorities. This article contains substantial and formal problems definition of synthesis model selection priority thematic directions in predicting STR based on national foresight form. An approach to the construction of the QM as a two-level hierarchical system is given. Concrete definition of developed QM reduced using Joiner-network that controls the "turn on" its own process and the issuance of synchronizing events other network elements.*

*Keywords: foresight methodology, Joiner-network.*