

УДК 519.6+327

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА НЕРАСПРОСТРАНЕНИЯ ЯДЕРНОГО ОРУЖИЯ

А. Н. Верещага, А. К. Чернышёв
(РФЯЦ-ВНИИЭФ, г. Саров)

Представлена модель ядерного выбора как часть процесса нераспространения ядерного оружия (этап принятия решения о разработке), построенная на основе применения методов нечеткой логики. В качестве входных переменных используется ряд внутренних и внешних факторов, характеризующих события, связанные с ядерным выбором государства. Для формирования функций принадлежности используемых нечетких переменных применяются известные международные индексы. Представлены тестовые результаты оценок известных исторических фактов для ядерных (официально и де-факто) государств, а также пороговых государств, отказавшихся от дальнейшей разработки ядерного оружия. Указывается возможная область применения разрабатываемой модели.

Ключевые слова: ядерное оружие, нераспространение ядерного оружия, нечеткая логика, ядерный выбор.

Введение

Распространение (или нераспространение) ядерного оружия (ЯО) может рассматриваться как процесс, определяемый внутренними и внешними событиями, в которые вовлечена конкретная страна. И те, и другие могут как стимулировать интерес к разработке ЯО, так и снижать его. Известно несколько официальных ядерных государств (США, Россия, Великобритания, Франция, Китай), а также являющихся ядерными де-факто (Израиль, Пакистан, Индия, КНДР). В то же время имеются страны, которые проводили исследования, связанные с разработкой ЯО, но по различным причинам отказались от его практического создания (Аргентина, Бразилия, Швеция, Швейцария, Румыния, Германия, Ливия, Египет и др.) [1]. Таким образом, исторические примеры свидетельствуют, что программа исследований в области ЯО не обязательно заканчивается обладанием этим видом оружия. История распространения ЯО не завершена, и в следующие несколько десятилетий могут появиться еще несколько ядерных государств, что, несомненно, окажет влияние на характер международных отношений, существенных для нашей страны.

На протяжении ряда лет проводятся исследования, целью которых является поиск причин, заставляющих государство идти по тому или иному пути ядерного выбора. В последние годы в ряде работ [1–5] анализ процесса распространения ЯО рассматривается на количественном уровне. Главное внимание при этом уделяется этапу, связанному с принятием государственного решения о начале разработки ЯО. Одна из таких работ проведена коллективом авторов из Тихоокеанской национальной лаборатории США [5]; в ней проанализированы мотивы распространения ЯО, построена аналитическая модель этого процесса на основе байесовских сетей [6] и приведены численные результаты риска распространения ЯО для ряда государств начиная с 1945 г.

Аналогичная работа выполнялась независимо авторами данной статьи на основе использования нечетко-логической модели. Работы [1–5] позволили несколько уточнить взгляд авторов на процесс распространения ЯО и на этой основе разработать его модель с использованием теории нечетких функций [7]. Выбор инструмента моделирования объясняется тем, что целый ряд параметров, влияющих на процесс распространения ЯО (характер политического режима, финансо-

вые возможности, научно-технический уровень государства, политика в области ядерного вооружения официальных ядерных государств, национальная безопасность государства, региональная напряженность, вовлеченность в международные отношения и многие другие), целесообразно рассматривать как нечеткие переменные. Для того, чтобы уменьшить влияние субъективизма при их оценках, в рассматриваемой модели были использованы статистические материалы, предоставляемые разными центрами анализа международных процессов в форме рейтингов государств по ряду показателей ([8–10] и др.).

Основные параметры, определяющие процесс распространения ЯО

Предлагаются три группы факторов, оказывающих, по мнению авторов, влияние на ядерный выбор страны:

- 1) техническая готовность;
- 2) внешние факторы;
- 3) внутренние факторы.

Параметры технической готовности (технологические), хотя и могут в значительной степени быть отнесены к внутренним факторам, выделены в отдельную группу.

Группа технологических параметров. В эту группу включены следующие определяющие факторы:

- 1) национальный потенциал (промышленность в сочетании с военными возможностями государства);
- 2) ядерная способность, которая представляет собой потенциал, определяющий техническую возможность разработки ЯО;
- 3) наличие средств доставки ЯО;
- 4) наличие лидера, способного возглавить и организовать процесс реализации программы создания ЯО.

Национальный потенциал. В качестве показателя национального потенциала использован широко известный индекс национального потенциала [11], который вычисляется как среднее арифметическое шести компонентов, представляющих собой доли страны:

- 1) в общей численности мирового населения;
- 2) в общей численности городского населения мира;

- 3) в мировом производстве черных металлов и стали;
- 4) в общемировом потреблении энергии;
- 5) в общемировых расходах на оборону;
- 6) в суммарной мировой численности вооруженных сил.

Динамика индекса национального потенциала для ядерных государств (официальных и де-факто) на основании данных [11] приведена на рис. 1 (см. также цветную вкладку). На рис. 2, 3 (см. также цветную вкладку) приведена динамика индекса национального потенциала для стран со средним и относительно низким его значением.

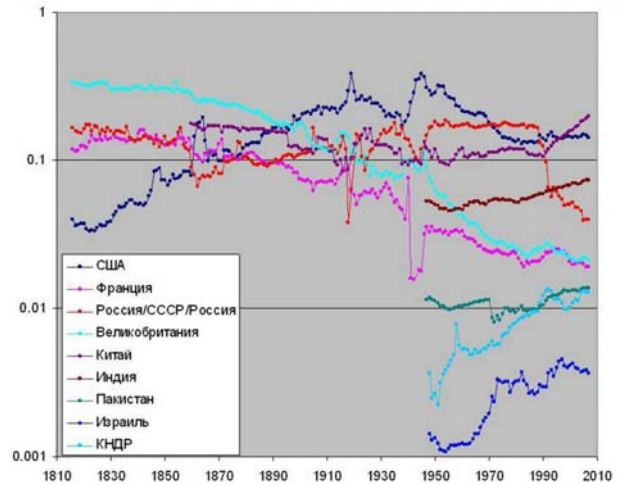


Рис. 1. Изменение индекса национального потенциала ядерных государств

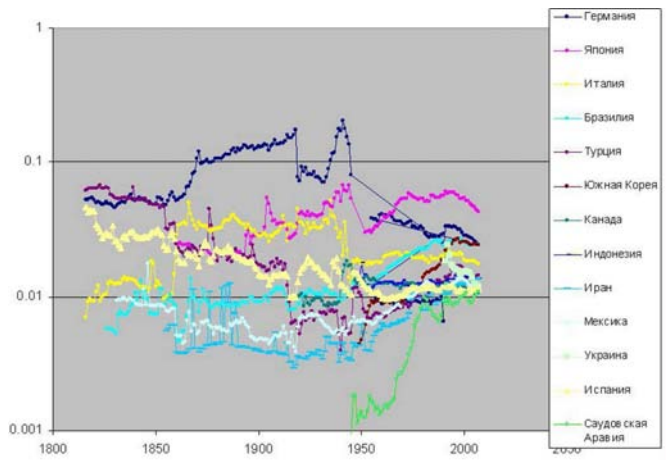


Рис. 2. Изменение индекса национального потенциала для стран со средним его значением

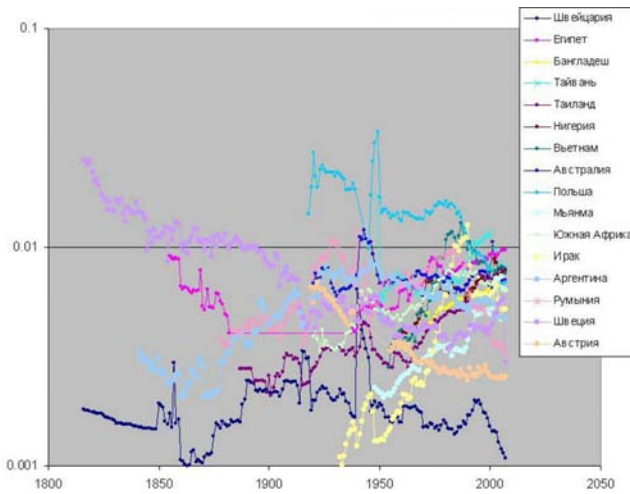


Рис. 3. Изменение индекса национального потенциала для стран с относительно низким его значением

Ядерная способность. Под ядерной способностью в дальнейшем подразумевается совокупность факторов, таких как наличие ядерной энергетики, соответствующих исследовательских организаций и центров, необходимой инфраструктуры, которая может быть использована в программе разработки ЯО. Ядерную способность можно было бы объединить в единый фактор с национальным потенциалом. В данном случае они разделены, поскольку не всегда взаимосвязаны. Например, страна может иметь достаточно высокий уровень национального потенциала, но при этом никак не проявлять своей ядерной способности.

В соответствии с данными работы [12] скрытые ядерные возможности государства определяются следующими семью составляющими:

- 1) запасами урана;
- 2) развитием металлургии;
- 3) наличием инженеров-химиков;
- 4) наличием инженеров по ядерной физике и химии;
- 5) наличием специалистов по электронике и взрывчатым составам;
- 6) возможностью производства азотной кислоты;
- 7) производством электроэнергии.

Соответственно имеются семь компонентов комбинированного показателя ядерной способности, каждый из которых может принимать значения 0 (отсутствие данной возможности) или 1

(ее наличие), и, таким образом, показатель изменяется между значениями 0 и 7.

Средства доставки ЯО. Наличие у страны технических средств доставки ЯО на территорию потенциального противника является одним из облегчающих факторов и стимулов его разработки. С учетом распространения в мире ракетных технологий этот параметр является существенным для анализа распространения ЯО.

Наличие организатора и руководителя. Данный фактор выделен в отдельный показатель, поскольку история свидетельствует о его роли как одного из ключевых. Влияние этого фактора является существенно нелинейным, поскольку обладает аккумулярующим и консолидирующим эффектом за счет мотивированного поведения всего коллектива, занятого разработкой ЯО.

Группа внешних параметров. В эту группу включены:

- 1) национальная безопасность;
- 2) ратификация Договора о нераспространении ЯО (ДНЯО) и Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (ДВЗЯИ);
- 3) наличие враждебного ядерного государства или другого оппонента;
- 4) ядерная политика официальных ядерных государств;
- 5) степень вовлеченности в международные отношения.

Оценка национальной безопасности. Предполагается, что уровень национальной безопасности связан с участием государства в региональных конфликтах, а также наличием гарантий безопасности со стороны внешней силы (блока государств или одного иностранного государства).

Для характеристики участия государства в региональных конфликтах может быть использован параметр, который в последние годы получил название индекса миролюбия [13]. Этот индекс характеризует страну, измеряя уровень насилия внутри государства и уровень агрессивности по отношению к другим странам. Он показывает, какие из государств можно считать наиболее безопасными (и наоборот, опасными) для жизни человека. Индекс рассчитывается по методике организации The Economist Intelligence

Unit (аналитическое подразделение британского журнала Economist) [8].

Будем считать, что индекс миролюбия косвенно связан со стремлением конкретной страны решать конфликты с применением военной силы и тем самым может быть использован в проводимом анализе.

Данные из [13] были нормированы таким образом, чтобы существовала возможность сопоставить их для разных лет. Весь диапазон изменения индекса миролюбия (от 0,4 до 1,6) был разбит на три интервала: *низкий*, *средний* и *высокий*. Государство отнесено к одному из них в зависимости от текущего значения индекса.

В случае, если государство, являясь участником регионального конфликта, получает гарантии безопасности со стороны внешнего государства, его мотивы получения в свое распоряжение ЯО если и не устраняются, то заметно снижаются. В настоящей работе показатель гарантии безопасности представлен в бинарном виде.

Ратификация ДНЯО и ДВЗЯИ. Под ратификацией ДНЯО в данном случае понимается ратификация как собственно ДНЯО, так и Дополнительного протокола по гарантиям. Оба эти договора (Дополнительный протокол можно по существу рассматривать как отдельное соглашение) в совокупности представляют собой серьезный барьер на пути разработки ЯО вследствие широких возможностей контроля ядерной деятельности неядерных государств, подписавших эти соглашения.

Ратификация ДВЗЯИ обязывает государство не производить испытательные взрывы ЯО, а также не побуждать, не поощрять и не участвовать в проведении любого испытательного взрыва. Подписание ДВЗЯИ и его соблюдение сильно ограничивают возможности государства в разработке ЯО.

Наличие враждебного ядерного государства. Враждебное государство может быть как соседним, так и государством-оппонентом, отделенным от рассматриваемого большим расстоянием. Наличие враждебного ядерного государства значительно усиливает мотивацию страны к обладанию собственным ЯО.

Ядерная политика официальных ядерных государств. То, как строят свою ядерную политику государства, официально обладающие ЯО,

служит ориентиром для многих других государств, которые рассматривают себя в качестве кандидатов на подобную роль. Нарастание ядерными государствами своего ядерного вооружения может восприниматься другими странами как сигнал, означающий допустимость подобных действий и для них. Обратный процесс — сокращение ЯО ядерными государствами — может быть воспринят не столь однозначно: не как запрет на подобную деятельность, но как неодобрение и сигнал о начале возможного активного противодействия реализации программы разработки ЯО. В связи с существенной ролью ядерных государств в области ядерных вооружений этот фактор учитывается в модели как параметр, влияющий в конечном итоге на ядерный выбор государства.

Степень вовлеченности в международные отношения. В качестве важного фактора, влияющего на стремление страны к обладанию ЯО, может рассматриваться вовлеченность государства в международные связи: политические, экономические, научно-технические и культурные. Чаще всего широкие связи в указанных областях означают меньшую склонность страны к выбору в пользу ЯО. И наоборот, движение страны в этом направлении зачастую приводит к ограничению международных связей.

Из международных рейтингов, свидетельствующих о международных связях государств, для использования в рамках задачи выбран индекс глобализации [14]. Этот индекс является комбинированным показателем и исчисляется как сумма ряда составляющих со своими весовыми коэффициентами. Индекс глобализации позволяет оценить масштаб интеграции той или иной страны в мировое пространство.

Как следует из данных работы [14], индекс глобализации для всех стран возрос после 1970 г. и практически никак не связан с национальным потенциалом страны: имеются страны с высоким значением национального потенциала и относительно низким индексом глобализации (например, Китай), со средним национальным потенциалом и низким индексом глобализации (например, Иран), с относительно низким национальным потенциалом и очень высоким индексом глобализации (например, Австрия и Швеция). Данные по индексу глобализации используются как характеризующие вовлеченность государств в международные отношения.

Группа внутренних параметров. В эту группу включены:

- 1) финансовые ресурсы;
- 2) характер политического режима;
- 3) требование государства.

Финансовые ресурсы. В связи с крайней дороговизной работ по созданию ЯО, требующих больших затрат на создание необходимой исследовательской и промышленной инфраструктуры, финансовые ресурсы играют определяющую роль. Затраты необходимы для разработки урановых запасов, получения делящегося материала нужного качества, создания металлургии, химической промышленности, ядерной химии, физики, инженерии и т. д.

Для оценки параметра финансовых ресурсов был использован глобальный индекс милитаризации, который оценивается для большинства государств мира Боннским международным центром конверсии (BICC) с 1990 г. [15]. И высокий, и низкий уровень милитаризации могут быть как достаточно вредным, так и полезным явлением. Страны с низким уровнем милитаризации не способны зачастую поддерживать необходимые уровни развития своей промышленности, внутренней безопасности, и для них разработка ЯО не стоит на повестке дня. Среди стран с достаточно высоким уровнем милитаризации есть такие, которым милитаризация необходима для обеспечения стабильного развития страны, и они не связывают свое будущее с разработкой ЯО. Имеются также страны, для которых высокий уровень милитаризации может рассматриваться как одно из условий движения в сторону разработки ЯО.

Согласно данным [15] ядерные государства в среднем имеют более высокий индекс милитаризации по сравнению с двумя другими категориями стран по индексу национального потенциала. У последних индекс милитаризации находится примерно в одном и том же диапазоне изменения. Для стран с относительно низким индексом национального потенциала индекс милитаризации имеет несколько большую дисперсию.

Исходя из сути индекса милитаризации можно предположить, что от его значения зависит одно из условий выбора страной ядерного пути: при низком значении этого параметра выбор в пользу ЯО маловероятен, при среднем значении существует некоторая возможность, а при высоком значении — большая вероятность такого выбора.

Характер политического режима. Предполагается, что от этого показателя зависит возможность выделения необходимых ресурсов для начала практических работ над ЯО. Для характеристики политических режимов государств были использованы данные работы Ванханена [10], в которой оценивается индекс демократии с 1810 по 2010 г.

Индекс демократии при использовании подхода работы [10] изменяется в диапазоне от 0 до ~ 50. Этот диапазон был разбит на четыре интервала, соответствующих режиму автократии, переходному режиму, неполноценной демократии и полноценной демократии, к которым отнесены страны в соответствии с работой [9].

Требование (заказ) государства. Этот параметр может играть существенную роль в интенсивности и результативности проводимых предварительных работ для того, чтобы в последующем было рассмотрено решение о программе создания ЯО. Требование государства может рассматриваться как основа для продолжения процесса разработки ЯО при положительных предварительных результатах, т. е. играть роль одного из факторов, снижающих порог на пути принятия решения о последующей разработке ЯО.

По мнению авторов, перечисленные три группы факторов, влияющих на ядерный выбор государства, следует рассматривать как взаимовлияющие. Степень взаимовлияния может быть различной, однако она существует, и будет не совсем верным проводить отдельный анализ влияния каждого из параметров на ядерный выбор. Отмеченное обстоятельство позволяет оценить рассматриваемый процесс ядерного выбора как в высшей степени сложный, что служит дополнительным аргументом в пользу применения для его анализа метода нечеткой логики.

Структура нечетко-логической модели ядерного выбора и функции принадлежности нечетких переменных

Приведенные выше соображения позволили построить функции принадлежности [16] для трех множеств нечетких переменных. Через логику логического вывода эти функции принадлежности связаны с выходной нечеткой переменной *ядерный выбор*. В совокупности перечисленные функции и правила логического вывода образуют модель ядерного выбора государства. Структурная схема модели приведена на рис. 4. Мо-

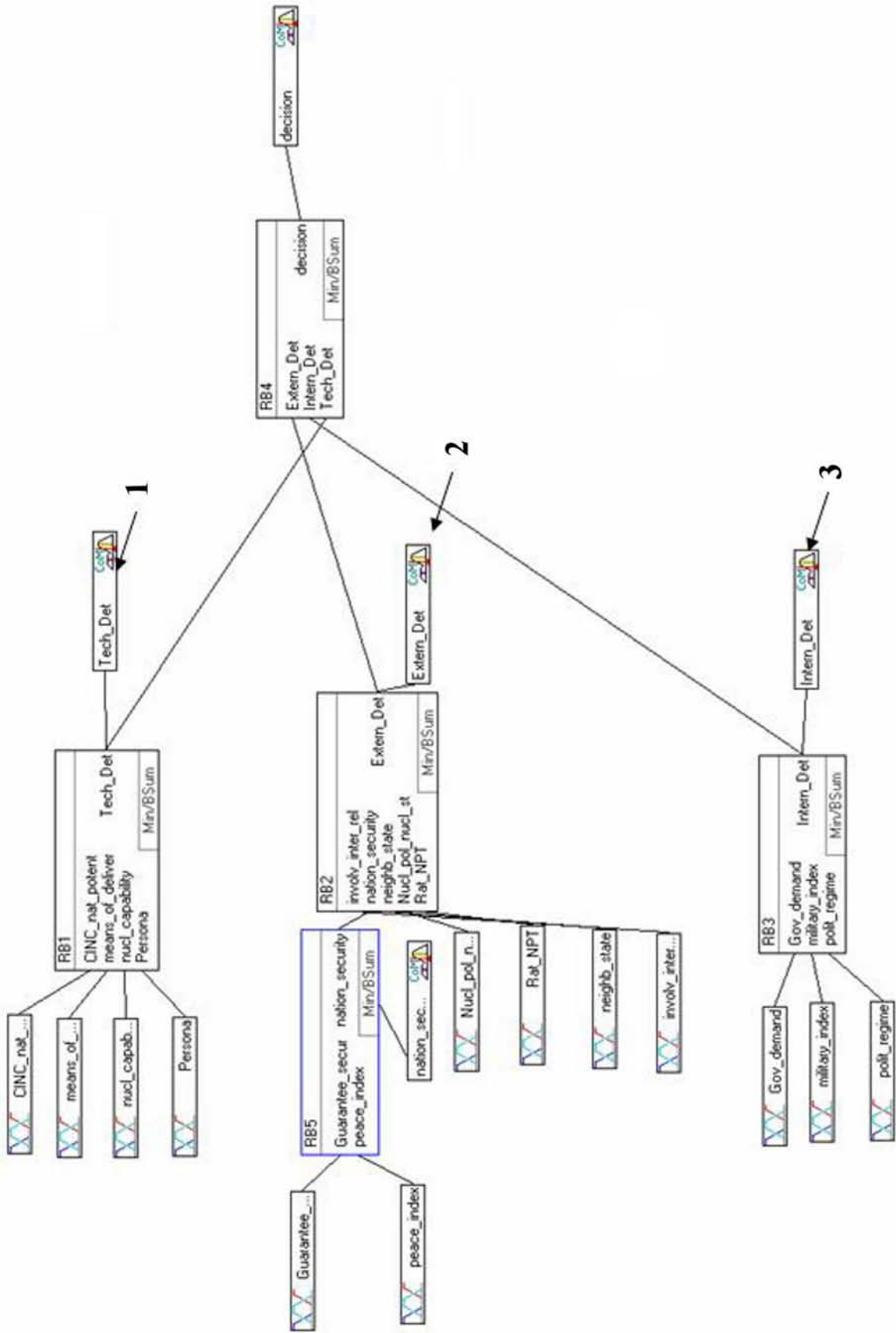


Рис. 4. Нечетко-логическая модель ядерного выбора

дель реализована в рамках программного продукта FuzzyTECH [17].

На схеме рис. 4 выделены следующие ветви:

- 1 — технологические параметры разработки ЯО с нечеткими входными переменными *ядерная способность, индекс национального потенциала, наличие лидера, средства доставки* и выходной переменной *техническая готовность*;
- 2 — внешние параметры с нечеткими входными переменными *гарантии безопасности, ядерная политика ядерных государств, ратификация ДНЯО, наличие враждебного государства, вовлеченность в международные отношения* и выходной переменной *внешние условия*;
- 3 — внутренние параметры с нечеткими входными переменными *индекс милитаризации, требование государства, политический режим* и выходной переменной *внутренние условия*.

Каждая из приведенных нечетких переменных описывается своей функцией принадлежности. На рис. 5, 6 (см. также цветную вкладку) приведены функции принадлежности некоторых нечетких переменных. Функции принадлежности других используемых нечетких переменных имеют аналогичный вид.

Выходная переменная *ядерный выбор* связана с нечеткими переменными *техническая готовность, внешние условия* и *внутренние условия*, являющимися выходными для ветвей 1–3 (см. рис. 4). Функция принадлежности выходной нечеткой переменной *ядерный выбор* приведена на рис. 7 (см. также цветную вкладку). Из рисунка следует, что на рассматриваемый момент времени государством может быть принято

одно из решений относительно разработки ЯО: *да, нет* и *может быть* (термы нечеткой переменной *ядерный выбор*).

Правила логического вывода

Зависимые нечеткие переменные (*техническая готовность, внешние условия, внутренние условия, национальная безопасность, а также ядерный выбор*) связаны с нечеткими независимыми переменными через блоки логического вывода. Блоки логического вывода состоят из логических правил, построенных по схеме *если—то* и имеют вид

$$R_j : \text{if } \tilde{x}_1 \text{ is } \tilde{P}_1^k \text{ and } \tilde{x}_2 \text{ is } \tilde{P}_2^l \text{ and } \dots \\ \dots \text{ and } \tilde{x}_n \text{ is } \tilde{P}_n^m \text{ then } \tilde{y} \text{ is } \tilde{Q}^j.$$

Здесь: $\tilde{x} = \{\tilde{x}_1, \tilde{x}_2, \dots, \tilde{x}_n\}$, \tilde{y} — векторы нечетких входных и выходных переменных соответственно; \tilde{P}, \tilde{Q} — термы входных и выходных нечетких переменных; $j = 1, \dots, N$, где N — число правил логического вывода в рассматриваемом блоке. Посылка в данном случае является объединением условий для входных переменных \tilde{x}_i , а вывод характеризует выходную переменную \tilde{y} .

Блоки правил логического вывода в рассматриваемой модели построены исходя из следующих соображений:

RB1 — определяет зависимость технической готовности от индекса национального потенциала, наличия средств доставки, ядерной способности, наличия необходимого лидера.

Принималось, что если индекс национального потенциала (CINC_nat_potential) и ядерная способность (nucl_capability) вы-

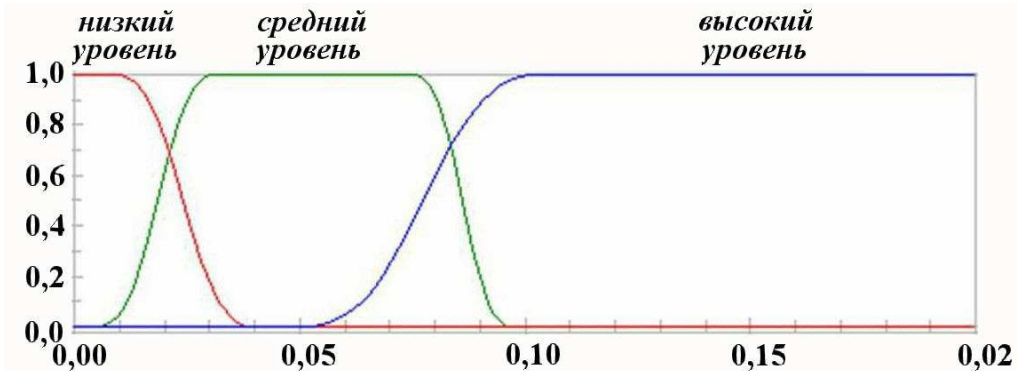


Рис. 5. Функция принадлежности нечеткой переменной *индекс национального потенциала*

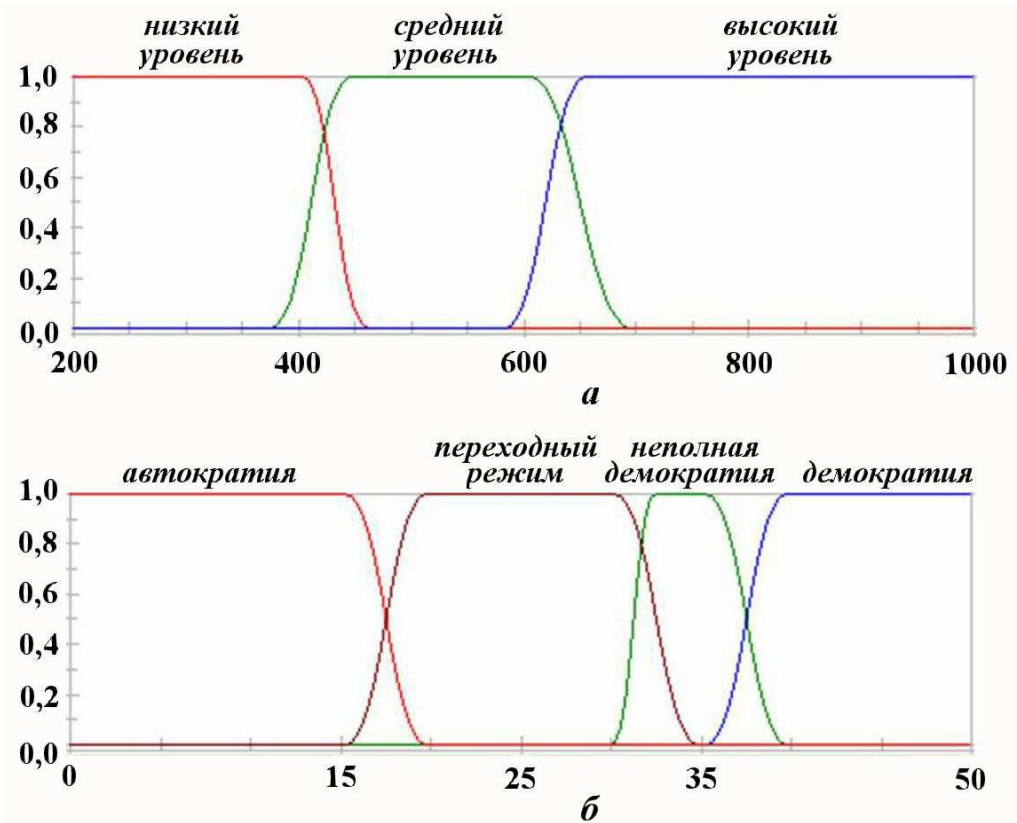


Рис. 6. Функции принадлежности нечетких переменных: а — индекс милитаризации; б — политический режим

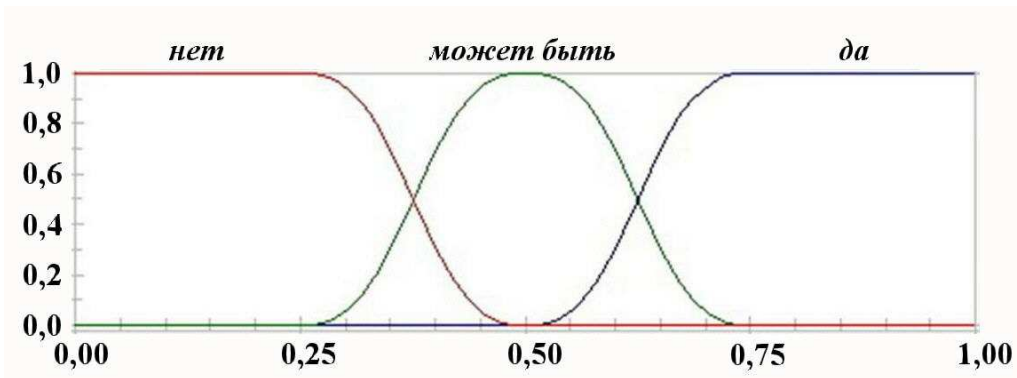


Рис. 7. Функция принадлежности выходной нечеткой переменной ядерный выбор

соки, а также имеются средства доставки (means_of_deliver) и лидер разработки (Persona), то техническая готовность (Tech_Det) к выбору ЯО высока. Исходя из подобной логики строились правила блока RB1 при варьировании независимых переменных. Всего в этот блок входит 107 правил логического вывода.

RB2 — определяет зависимость внешних условий разработки ЯО от вовлеченности стра-

ны в международные отношения, уровня национальной безопасности, ратификации международных соглашений ДНЯО и ДВЗЯИ, наличия враждебных соседних государств и политики ядерных государств в отношении ЯО.

Принималось, что если вовлеченность в международные отношения (involv_inter_rel) и национальная безопасность (nation_security) велики, страна

ратифицировала ДНЯО, Дополнительный протокол и ДВЗЯИ (Rat_NPT), не имеет враждебных государств (neighb_state), а ядерные государства проводят в отношении ЯО политику сокращения (Nucl_pol_nucl_st), то внешние условия (Extern_Det) не способствуют принятию решения в пользу ЯО. При варьировании значений независимых переменных было получено 108 правил в блоке логического вывода RB2.

В рассматриваемом блоке переменная *национальная безопасность* (nation_security), в свою очередь, сама является выходной, связанной через блок правил RB5 с входными переменными *гарантии безопасности* (Guarantee_secur) и *индекс миролюбия* (peace_index). Здесь предполагалось, что если гарантии безопасности высоки, а индекс миролюбия низок, то национальная безопасность высока. В блоке RB5 содержится 6 правил вывода.

RB3 — определяет зависимость внутренних условий разработки ЯО от требования государства, индекса милитаризации и политического режима.

Предполагалось, что если индекс милитаризации (military_index) высок, имеется требование государства (Gov_demand) и политический режим (polit_regime) близок к авторитарическому, то внутренние условия способствуют выбору страны в пользу ЯО. Варьирование независимых переменных привело к 24 правилам в этом блоке.

RB4 — позволяет получить выходной параметр *ядерный выбор* (decision) при входных переменных *техническая готовность*, *внешние условия* и *внутренние условия*.

Предполагалось, что если техническая готовность к разработке ЯО высока, внешние и внутренние условия способствуют этому, то будет сделан выбор в пользу ЯО (*да*). При других значениях входных переменных могут быть другие значения переменной *ядерный выбор* — *нет* и *может быть*. В этом блоке используется 27 правил.

Тестовые расчеты ядерного выбора для ядерных и пороговых стран

Функционирование предлагаемой нечеткологической модели ядерного выбора страны

было проверено на примере известных ядерных и пороговых неядерных государств. Оценки ядерного выбора для этих стран относились либо к году проведения ядерного испытания, либо к последнему известному году выполнения ядерно-оружейной программы пороговыми странами (для Ирана дополнительно сделана оценка на 2012 г.). При проведении расчетов авторы исходили из информации о времени проведения ядерно-оружейных программ в соответствии с [18] (табл. 1).

В табл. 2, 3 для указанных стран приведены значения независимых переменных для оценки ядерного выбора, а также результаты выполненных оценок. Результатами являются значения функций принадлежности промежуточных выходных переменных, а также основной выходной переменной *ядерный выбор* и ее термов — *да*, *нет* и *может быть*.

Из табл. 2 видно, что результаты моделирования ядерного выбора странами, которые стали в последующем ядерными государствами, соответствуют их реальному выбору на год проведения испытаний (для них функция принадлежности терма *да* равна 1, функции принадлежности остальных термов равны нулю). Лишь у Индии функция принадлежности терма *может быть* имеет отличное от нуля значение. Для всех остальных ядерных государств предлагаемая модель демонстрирует отсутствие сомнений в их ядерном выборе.

Для пороговых государств (см. табл. 3) картина более разнообразна. Почти для всех этих стран значение функции принадлежности переменной *ядерный выбор* значительно ближе к 0,5, т. е. на момент рассмотрения ситуации эта переменная ближе к нечеткому значению *может быть*.

Некоторые отличия получены для Ирака, Бразилии, ЮАР и Тайваня. Для ЮАР демонстрируется практически явный положительный ядерный выбор, для Тайваня — весьма заметная склонность к такому выбору (значения функции принадлежности переменной *ядерный выбор* равны соответственно 0,86 и 0,7), для Бразилии получено примерно такое же значение этой функции (0,78). Функция принадлежности *ядерного выбора* Ирака в 2002 г. равна 0,65 (*может быть* = 0,77, *да* = 0,54).

Из табл. 3 следует, что Тайвань мог принять решение об испытании ядерного устройства вследствие достаточно высоких показателей *технической готовности* (функция принадлеж-

Страны, имеющие ядерно-оружейные программы

Страна	Период выполнения программы	Первое испытание
Ядерные страны		
США	1942*	1945
СССР/РФ	1943	1949
Великобритания	1941	1952
Франция	1954	1960
Китай	1956	1964
Де-факто ядерные страны		
Израиль	1955	1966
ЮАР**	1971–1990	1979–1991
Индия	1972	1974 (1998)
Пакистан	1972	1998
Северная Корея	1982	2006
Пороговые ядерные страны		
Швеция	1946–1969	—
Тайвань	1967–1976	—
Южная Корея	1971–1975	—
Иран (1)	1974–1978	—
Иран (2)	1984	—
Ирак	1973–2002	—
Аргентина	1976–1990	—
Бразилия	1978–1990	—
Румыния	1981–1989	—

*Отсутствие года завершения программы означает ее продолжение в настоящее время.

**ЮАР можно рассматривать как ядерное де-факто государство, так и отнести к категории пороговых стран.

ности 0,5), *внешних условий* (функция принадлежности 0,88) и *внутренних условий* (функция принадлежности 0,7).

Высокое значение функции принадлежности *ядерного выбора* Бразилии соответствует действительности, поскольку известно, что в этой стране было подготовлено к испытаниям два ядерных устройства. Какие именно события заставили Бразилию завершить программу разработки ЯО, провести публичную заливку скважины бетоном, а затем подписать с Аргентиной соглашение о совместных инспекциях своих ядерных установок, авторам неизвестно.

Ядерная программа Ирака 2002 г. характеризуется положительным значением переменной *ядерный выбор* с функцией принадлежности 0,65. Это еще не реальный выбор в пользу ЯО, но движение в этом направлении наблюдается. Чем на практике завершился бы этот процесс, неизвестно, поскольку он был прерван вторжением в Ирак войск коалиции во главе с США.

Ядерная программа Ирана 1978 г. характеризуется *ядерным выбором* с функцией принадлеж-

ности 0,5 (т. е. *может быть*). Положительному ядерному выбору способствовали *внутренние условия* и *внешние условия* (функции принадлежности обеих переменных равны 0,88), однако препятствовали *техническая готовность* и *национальная безопасность* (обе функции принадлежности равны 0,12).

В 2012 г., для которого также выполнена оценка, у Ирана несколько возросли индекс национального потенциала, ядерная способность, индекс милитаризации и понизился индекс миролюбия, но эти изменения не были настолько значительными, чтобы функция принадлежности переменной *ядерный выбор* возросла. Она по-прежнему остается на уровне 0,5. Выбор Ираном в пользу ЯО может состояться, например, в том случае, если за прошедшие годы в этой стране появился соответствующий харизматичный лидер или группа людей, активно продвигающая ядерную программу (этот вариант в табл. 3 вынесен в отдельный столбец).

Оценки ядерного выбора ядерных и пороговых государств, полученные с использованием пред-

Таблица 2

Исходные данные и результаты расчетов ядерного выбора ядерных государств

Название переменной	СССР (1949)	США (1945)	Великобритания (1952)	Франция (1960)	Китай (1964)	Израиль (1966)	Индия (1988)	Пакистан (1987)	КНДР (2006)
Исходные данные									
<i>индекс национального потенциала</i>	0,167	0,384	0,049	0,034	0,11	0,00143	0,0577	0,0099	0,013
<i>требование правительств</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>гарантии безопасности</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>индекс глобализации</i>	0	60	65	60	17	52	26	28	0
<i>наличие средств доставки ЯО</i>	0	1	1	1	0	1	1	1	0,5
<i>индекс милитаризации</i>	888	800	800	800	800	888	399	578	888
<i>наличие враждебного государства</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>ядерная способность</i>	7	7	6	7	7	7	7	7	6
<i>ядерная политика ядерных государств</i>	1	0	1	1	1	1	1	1	0,5
<i>индекс миролюбия</i>	1,1	1	1	1	1	1,25	1,043	1,112	0,816
<i>наличие лидера</i>	1	1	0	0	1	0	0	0	0
<i>политический режим</i>	0	24	29	12	0	30	16	0	0
Результаты расчетов									
<i>ратификация ДНЯО</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>техническая готовность</i>	0,88	0,88	0,5	0,5	0,88	0,5	0,5	0,5	0,5
<i>национальная безопасность</i>	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
<i>внутренние условия</i>	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,85	0,88	0,88
<i>внешние условия</i>	0,88	0,5	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88
<i>ядерный выбор</i>	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,85	0,88	0,88
и ее термы:									
<i>нет</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>может быть</i>	0	0	0	0	0	0	0,06	0	0
<i>да</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Исходные данные и результаты расчетов ядерного выбора пороговых государств

Название переменной	Швеция	Южная Корея	Ирак	Аргентина	Бразилия	Румыния	ЮАР	Тайвань	Иран		
	(1969)	(1975)	(2002)	(1990)	(1990)	(1989)	(1990)	(1976)	(1978) (2012)	При наличии лидера	
Исходные данные											
индекс национального потенциала	0,004	0,01	0,0068	0,005	0,024	0,0085	0,007	0,006	0,0097	0,01345	—
требование правительств	0	0	1	0,5	1	1	1	1	1	1	—
гарантии безопасности	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	—
индекс глобализации	65	27	35,4	49,2	45,3	33,4	39	32	32	38	—
наличие средств доставки ЯО	1	1	1	0,5	0,5	1	0,5	0,5	0	1	—
индекс милитаризации	612	689	888	426	438	721	534	689	512	597	—
наличие враждебного государства	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	—
ядерная способность	7	6	5	7	7	7	5	6	6	7	—
ядерная политика	1	1	1	0,5	0,5	0,5	1	1	1	0,5	—
ядерных государств	0,6	0,71	1,42	0,79	0,896	0,694	0,989	0,714	0,957	0,748	—
индекс миролюбия	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	—
наличие лидера	31	0	0	27,3	21,8	14,7	3,1	0	6,1	2,4	—
политический режим											
Результаты расчетов											
ратификация ДНЯО	0	1	1	0	0	1	0	1	1	1	—
техническая готовность	0,5	0,5	0,28	0,5	0,5	0,5	0,49	0,5	0,12	0,12	0,5
национальная безопасность	0,12	0,88	0,12	0,12	0,12	0,88	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
внутренние условия	0,41	0,87	0,88	0,52	0,78	0,88	0,88	0,7	0,88	0,88	0,88
внешние условия	0,88	0,5	0,88	0,88	0,88	0,5	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88
ядерный выбор	0,5	0,5	0,65	0,67	0,78	0,5	0,86	0,7	0,5	0,5	0,88
и ее термы:											
нет	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
может быть	1	1	0,77	1	0,33	1	0,03	0,49	1	1	0
да	0	0	0,54	0,84	0,97	0	1	0,54	0	0	1

лагаемой нечетко-логической модели, соответствуют известным историческим фактам и не противоречат здравому смыслу.

Заключение

В работе представлена модель ядерного выбора государства, построенная на основе применения теории нечетких функций. В качестве ключевых переменных модель использует факторы, характеризующие технологические возможности государства, связанные с его ядерной способностью, взаимоотношения внутри рассматриваемого государства, а также являющиеся следствием взаимоотношений государства с другими странами. Тестирование модели на множестве ядерных и пороговых государств показало достаточную степень соответствия известным историческим фактам, и это вселяет некоторую уверенность в пригодности модели.

Предлагаемая нечетко-логическая модель может быть применена для прогнозирования процесса распространения ЯО. Этот же инструмент может быть использован для моделирования процессов типа *что будет, если* в области проблем распространения ЯО, т. е. в отношении государства, делающего свой ядерный выбор, позволяет выполнить моделирование возможных результатов действий, направленных на отказ от дальнейшего выполнения им ядерной программы. Переменные, лежащие в основе модели, могут рассматриваться в качестве рычагов, позволяющих планировать действия, связанные с сокращением угрозы распространения ЯО, и количественно оценивать масштаб и результативность подобных усилий.

Авторы отдают себе отчет в том, что полтора десятка нечетких переменных не могут точно описать результат взаимодействия всех сложных процессов, происходящих в ядерно-оружейной сфере страны, а также в областях, смежных с ней.

Поскольку процесс выбора независимых нечетких переменных и формирования их функций принадлежности не исключает субъективного подхода, авторы считают необходимым продолжить анализ процесса распространения ЯО с целью совершенствования модели.

Отдельной, но важной темой является применение инструментов, подобных рассматриваемому в настоящей работе, в практике решения проблем нераспространения ЯО. Обсуждение этого вопроса выходит за рамки данной статьи.

Список литературы

1. *Jo D.-J., Gartzke E.* Determinants of nuclear weapons proliferation // *J. of Conflict Resolution*. 2007. Vol. 51(1). P. 167—194.
2. *Singh S., Way C. R.* The correlates of nuclear proliferation: A quantitative test // *Ibid.* 2004. Vol. 48(6). P. 859—885.
3. *Einhorn R. J.* Will the abstainers reconsider? Focusing on individual cases // *The Nuclear Tipping Point: Why States Reconsider Their Nuclear Choices* / Ed. by K. M. Campbell, R. J. Einhorn, M. B. Reiss. Washington: The Brookings Institution, 2004. P. 32—42.
4. *Campell K. M.* Reconsidering a nuclear future: Why countries might cross over the other side // *Ibid.* P. 18—31.
5. *Coles G. A., Dalton A. C., Cooley S. K. et al.* Utility of Social Modeling in Assessment of a State's Propensity for Nuclear Proliferation. PNNL-20492. June 2011.
6. *Jenson F. V.* An Introduction to Bayesian Networks. New York: Springer, 1996.
7. *Cox E.* The Fuzzy Systems Handbook. A Practitioner's Guide to Building, Using and Maintaining Fuzzy Systems. McGraw-Hill, 1994.
8. Global Peace Index. www.wikipedia.org/wiki/Global_Peace_Index.
9. Democracy Index 2010. Democracy in Retreat. A Report from the Economist Intelligence Unit. www.eiu.com.
10. *Vanhanen T.* Measures of Democracy 1810—2010. www.fsd.uta.fi.
11. Статистические данные проекта "Correlates of war". http://correlatesofwar.org/COW2%20Data/Capabilities/NMC_v4_0.csv.
12. *Jo D.-J., Gartzke E.* Latent Nuclear Weapons Production Capability. Data Notes. 2007. www.columbia.edu/~eg589.

13. Global Peace Index. <http://www.visionofhumanity.org/>.
14. KOF Index of Globalization. <http://globalization.kof.ethz.ch/>.
15. *Grebe J.* Occasional Paper VII. The Global Militarization Index (GMI). BICC. February 2011. www.bicc.de.
16. *Круглов В. В., Дли М. И., Голунов Р. Ю.* Нечеткая логика и искусственные нейронные сети. М.: Физматлит, 2002.
17. FuzzyTECH® 5.5. User's Manual. Inform GmbH, Inform Software Corp., 2001.
18. *Jo D.-J., Gartzke E.* Codebook and Data Notes for "Determinants of Nuclear Weapons Proliferation: A Quantitative Model". September 2006.

Статья поступила в редакцию 04.04.13.
