

УДК 519.6+327

Применение методов нечеткой логики для моделирования процессов нераспространения ядерного оружия

А. Н. Верещага, А. К. Чернышев

Представлена модель ядерного выбора как части 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 функций применяются известные международные индексы. Представлены тестовые результаты оценок известных исторических фактов для ядерных (официальных и де-факто) государств, а также пороговых государств, отказавшихся от дальнейшей разработки ядерного оружия. Указана возможная область применения разрабатываемой модели.

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 либо стимулировать интерес к разработке ядерного оружия, либо снизить его. Существуют официальные ядерные государства (США, Россия, Великобритания, Франция, Китай), и государства, являющиеся ядерными де-факто (Израиль, Пакистан, Индия, КНДР). Некоторые страны 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, программа исследований в области ЯО не обязательно заканчивается обладанием этим видом оружия. История распространения ЯО не завершена, и в следующие несколько десятилетий могут появиться другие ядерные государства, что 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 наш взгляд 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, финансовые 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), конечно, могут быть отнесены к внутренним факторам, но выделены нами в отдельную группу.

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

- 1) национальный потенциал (промышленные и военные возможности государства),
- 2) ядерный 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 [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 цв. вкл.).

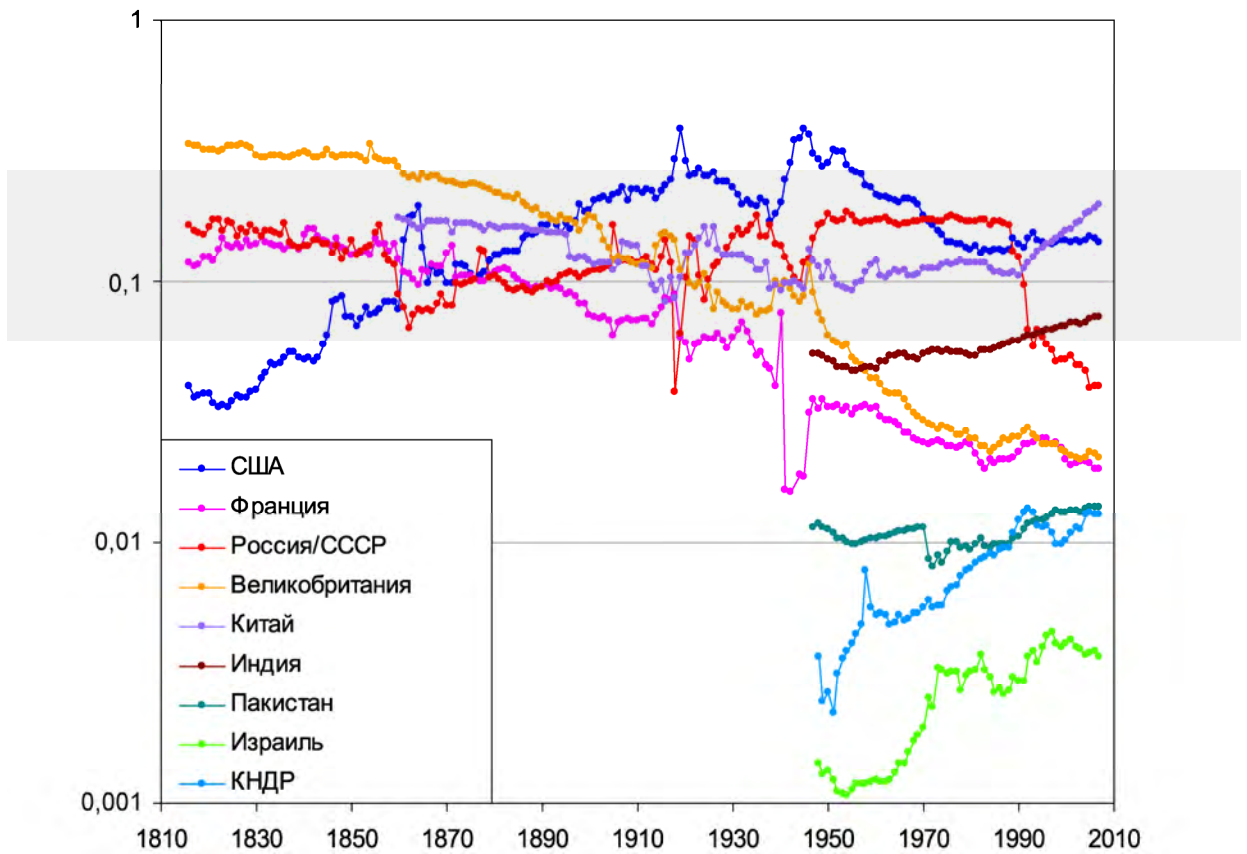


Рис. 1. Динамика коэффициента национального потенциала ядерных государств

На рис. 2, 3 (см. также цв. вкл.) показана динамика коэффициента национального потенциала для стран со средним и 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 с национальным потенциалом, но 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.

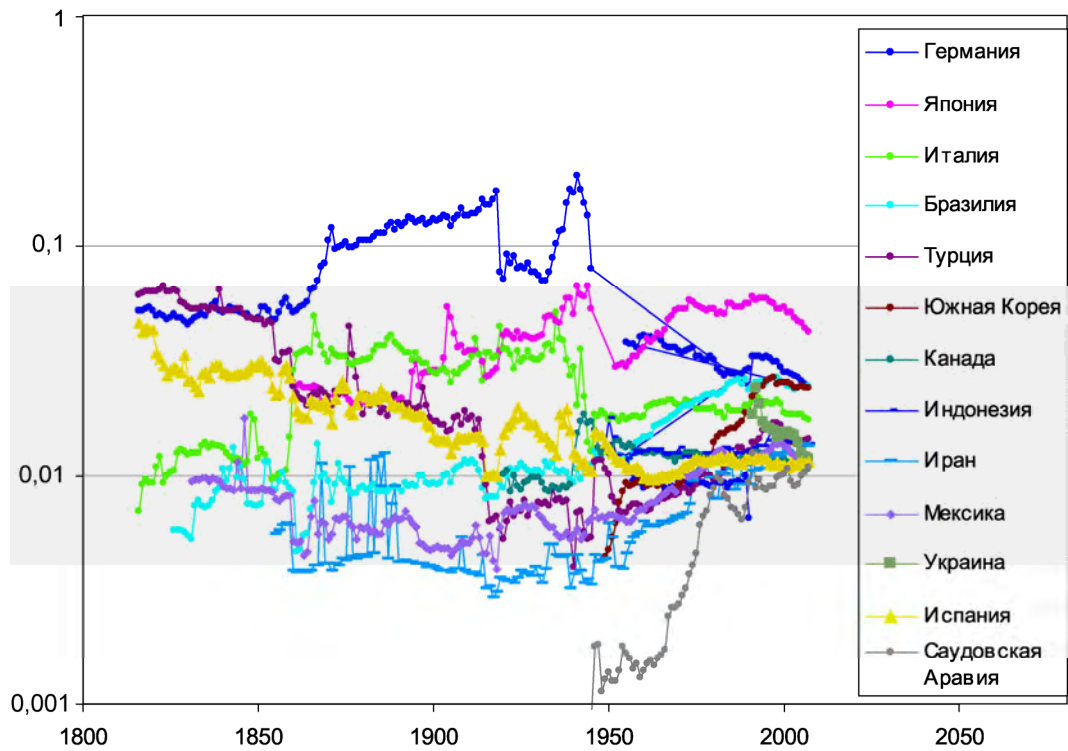


Рис. 2. Динамика коэффициента национального потенциала для стран со средним его значением

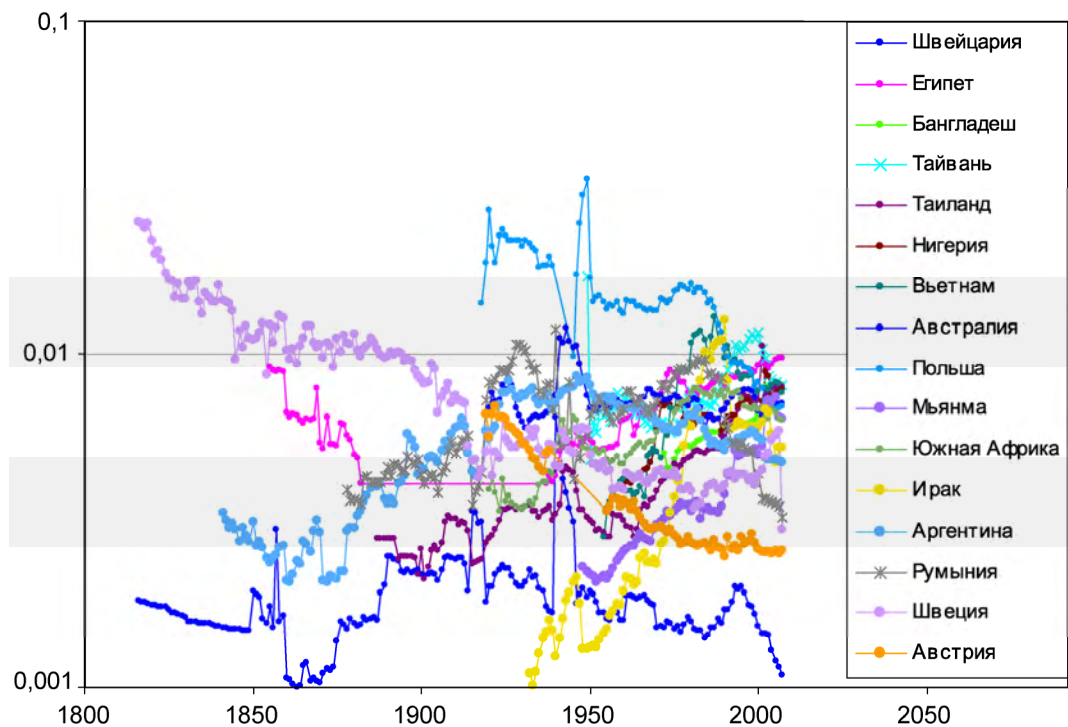


Рис. 3. Динамика коэффициента национального потенциала для стран с относительно низким его значением

То есть имеются семь компонентов комбинированного показателя ядерной способности, каждый из которых может принимать значение 0 (отсутствие данной возможности) или 1 (наличие данной возможности); таким образом, показатель изменяется от 0 до 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 одной из ключевых. Влияние этого фактора существенно нелинейно, поскольку обладает аккумулялирующим и консолидирующим эффектом за счет мотивированного поведения всего коллектива, занятого разработкой ЯО.

Группа внутренних параметров. В эту группу включены:

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

Финансовые ресурсы. В связи с очень высокой стоимостью работ по созданию ЯО (затраты на создание необходимой исследовательской и промышленной инфраструктуры) финансовые ресурсы играют определяющую роль. Финансирование необходимо 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 используется глобальный индекс милитаризации, который для большинства государств мира оценивается Боннским международным центром конверсии (ВСС) с 1990 г. [13]. И высокий, и низкий уровни милитаризации могут быть как негативным, так и положительным явлением. Страны с низким уровнем милитаризации не способны зачастую поддерживать необходимый уровень развития своей промышленности, внутренней безопасности, поэтому 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. Существуют страны, для которых высокий уровень милитаризации может рассматриваться как одно из условий движения в сторону разработки ЯО.

Согласно данным [13] 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 содержания 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 вероятность, 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 гг.

Индекс демократии при использовании подхода работы [10] изменяется в диапазоне от 0 до ~50 единиц. Этот диапазон был разбит на 4 интервала, соответствующих режиму автократии, переходному режиму, неполноценной 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 предварительных работ для принятия решения о программе создания ЯО. Требование государства может рассматриваться как основа для продолжения процесса разработки ЯО при положительных предварительных результатах, т. е. быть одним из факторов, снижающих порог на пути принятия решения о последующей разработке ЯО.

Группа внешних параметров. В эту группу входят:

- 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 [14]. Этот индекс характеризует государство, отражая уровень насилия внутри него и уровень агрессивности по отношению к другим странам. Он показывает, какие страны 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 [14] 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, когда государство, являясь участником регионального конфликта, получает гарантии безопасности со стороны внешнего государства, его мотивация получения в свое распоряжение ЯО если и не устраняется, то заметно уменьшается. 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 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 пограничным, так и расположенным на значительном расстоянии. 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. Нарастивание ядерными государствами своего ядерного вооружения может быть воспринято 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 рейтингов международных связей государств нами выбран рейтинг глобализации [15]. Этот индекс является комбинированным показателем и вычисляется как взвешенная сумма ряда составляющих. Индекс глобализации позволяет оценить масштаб интеграции той или иной страны в мировое пространство.

Как следует из работы [15], индекс глобализации для всех стран вырос 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).

По мнению авторов, перечисленные три группы факторов, влияющих на ядерный выбор государства, следует рассматривать как взаимосвязанные. Степень взаимовлияния может быть различной, однако она существует, поэтому будет не совсем правильно анализировать влияние каждого параметра на ядерный выбор в отдельности. Отмеченное обстоятельство позволяет оценить 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 для трех множеств нечетких переменных [16]. Через блоки 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. Модель реализована в рамках программного продукта FuzzyTECH [17].

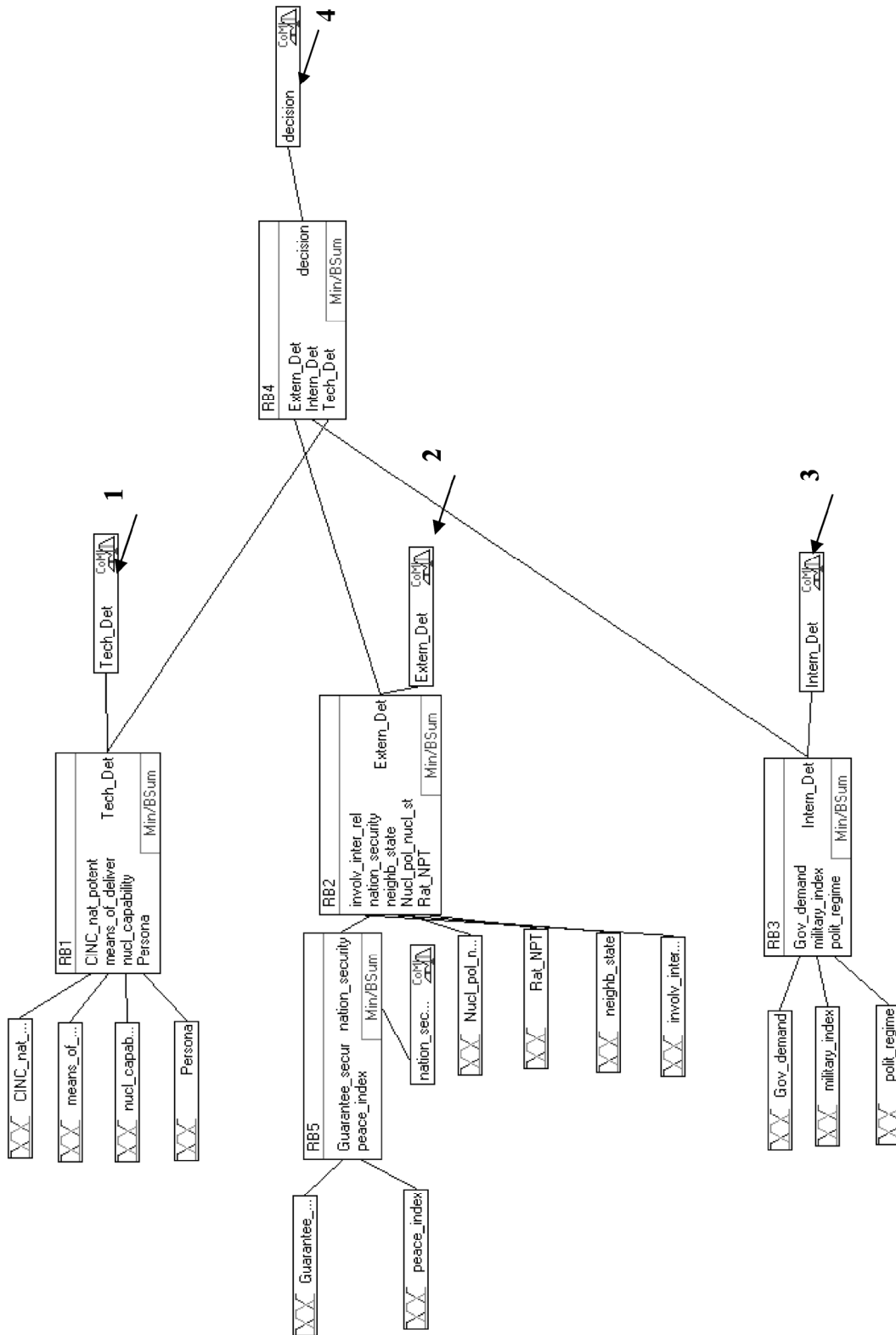


Рис. 4. Нечетко-логическая модель ядерного выбора

На схеме выделены следующие ветви:

1 – технологические параметры разработки ЯО с нечеткими входными переменными *ядерная способность, индекс национального потенциала, наличие лидера, средства доставки ядерного оружия* 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 цв. вкл.) приведены функции принадлежности некоторых нечетких переменных. Функции принадлежности других используемых нечетких переменных имеют аналогичный вид.

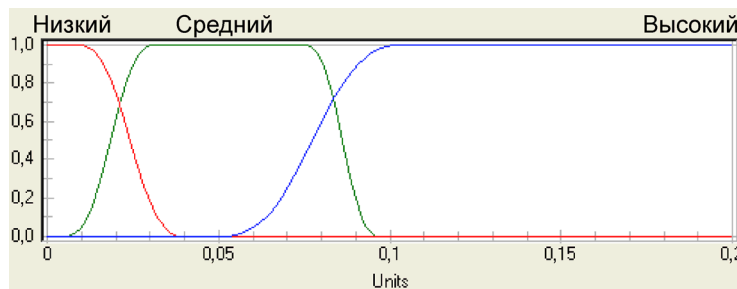
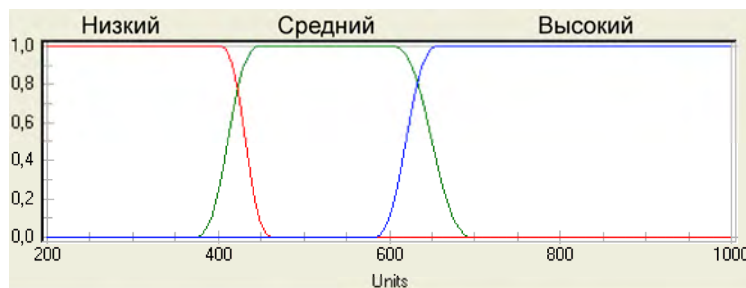
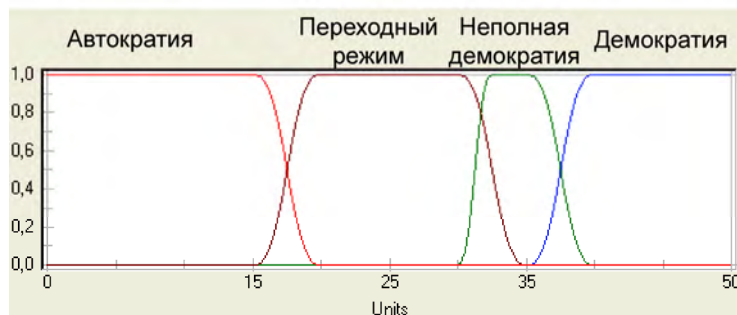


Рис. 5. Функция принадлежности нечеткой переменной *индекс национального потенциала*



а



б

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

Выходная переменная *ядерный выбор* связана с нечеткими переменными *техническая готовность*, *внешние условия* и *внутренние условия*. Функция принадлежности выходной нечеткой переменной *ядерный выбор* приведена на рис. 7 (см. также цв. вкл.).



Рис. 7. Функция принадлежности выходной нечеткой переменной *ядерный выбор*

Из рисунка видно, что на рассматриваемый момент времени государством может быть принято одно из решений относительно разработки ЯО: *да*, *нет* или *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:

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

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_potencial) и ядерная способность (nucl_capability) высоки, 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 страны 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 (*involve_inter_rel*) и национальная безопасность (*national_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 о ядерном выборе. При варьировании значений независимых переменных было получено 108 правил в блоке логического вывода RB2.

В рассматриваемом блоке переменная *национальная безопасность* (*nation_security*) является зависимой, связанной через блок правил RB5 с входными переменными *гарантии безопасности* (*Guarantee_secur*) и *индекс миролюбия* (*peace_index*). Здесь предполагалось, что если гарантии безопасности высоки, 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 авторитарному, то внутренние условия способствуют выбору 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 используются 27 правил.

Тестовые расчеты ядерного выбора для ядерных и пороговых стран

Функционирование предлагаемой нечетко-логической 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 была сделана оценка на 2012 г.). При проведении расчетов авторы исходили из информации о времени проведения ядерно-оружейных программ в соответствии с [18] (табл. 1).

Таблица 1

Страны, имеющие ядерно-оружейные программы

Страна	Продолжительность программы, годы*	Первое испытание, год
Ядерные страны		
США	1942	1945
СССР/РФ	1943	1949
Великобритания	1941	1952
Франция	1954	1960
Китай	1956	1964

Окончание табл. 1

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	

Примечание: * – отсутствие года завершения программы означает ее продолжение в настоящее время; ** – ЮАР можно рассматривать как де-факто ядерное государство, так и отнести к категории пороговых стран.

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, соответствует их реальному выбору в 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 (значение функции принадлежности переменной *ядерный выбор* равны 0,86 и 0,7 соответственно), 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 высокого уровня *технической готовности* (функция принадлежности 0,5), *внешних условий* (функция принадлежности 0,88) и *внутренних условий* (функция принадлежности 0,7).

Таблица 2

Исходные данные и результаты расчетов ядерного выбора ядерных государств

Страна	СССР (1949 г.)	США (1945 г.)	Велико- британия (1952 г.)	Франция (1960 г.)	Китай (1964 г.)	Израиль (1966 г.)	Индия (1988 г.)	Пакистан (1987 г.)	КНДР (2006 г.)
Независимая переменная									
Индекс национального потенциала	0,167	0,384	0,049	0,034	0,11	0,00143	0,0577	0,0099	0,013
Требование правительства	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Гарантии безопасности	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Индекс глобализации	0	60	65	60	17	52	26	28	0
Наличие средств доставки ЯО	0	1	1	1	0	1	1	1	0,5
Индекс милитаризации	888	800	800	800	800	888	399	578	888
Наличие враждебного государства	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Ядерная способность	7	7	6	7	7	7	7	7	6
Ядерная политика ядерных государств	1	0	1	1	1	1	1	1	0,5
Индекс миролюбия	1,1	1	1	1	1	1,25	1,043	1,112	0,816
Наличие персоны	1	1	0	0	1	0	0	0	0
Политический режим	0	24	29	12	0	30	16	0	0
Ратификация ДНЯО	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Техническая готовность	0,88	0,88	0,5	0,5	0,88	0,5	0,5	0,5	0,5
Национальная безопасность	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
Внутренние условия	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,85	0,88	0,88
Внешние условия	0,88	0,5	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88
Ядерный выбор и его составляющие:									
нет	0	0	0	0	0	0	0	0	0
может быть	0	0	0	0	0	0	0,06	0	0
да	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Таблица 3

Исходные данные и результаты расчетов ядерного выбора пороговых государств

Страна	Швеция (1969 г.)	Южная Корея (1975 г.)	Ирак (2002 г.)	Арген- тина (1990 г.)	Брази- лия (1990 г.)	Румы- ния (1989 г.)	Южная Африка (1990 г.)	Тайвань (1976 г.)	Иран (1978 г.)	Иран (2012 г.)
Неза- висимая переменная										
Индекс национального потенциала	0,004	0,01	0,0068	0,005	0,024	0,0085	0,007	0,006	0,0097	0,01345
Требование правительства	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 ядерных государств	1	1	1	0,5	0,5	0,5	1	1	1	0,5
Индекс миролюбия	0,6	0,71	1,42	0,79	0,896	0,694	0,989	0,714	0,957	0,748
Наличие персоны	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Политический режим	31	0	0	27,3	21,8	14,7	3,1	0	6,1	2,4
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	0,5
Национальная безопасность	0,12	0,88	0,12	0,12	0,12	0,88	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
Внешние условия	0,88	0,5	0,88	0,88	0,88	0,5	0,88	0,88	0,88	0,88
Ядерный выбор и его составляющие:	0,5	0,5	0,65	0,67	0,78	0,5	0,86	0,7	0,5	0,5
нет	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
да	0	0	0,54	0,84	0,97	0	1	0,54	0	1

Если
в Иране
появился
лидер
ядерной
про-
граммы

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 ядерного оружия, 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 принадлежности 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 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 находится на уровне 0,5. Выбор Ирана 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 для Ирана вынесен в отдельный столбец).

Оценки ядерного выбора ядерных и пороговых государств, выполненные с использованием предлагаемой 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, что вселяет некоторую уверенность в работоспособности 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; он позволяет смоделировать возможные результаты 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 его модели.

Отдельной, но важной проблемой 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 D.C.: The Brookings Institution, 2004. P. 32–42.
4. Campbell 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. Jensen F. V. An Introduction to Bayesian Networks. – N.Y.: 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 [Electronic resource]. – http://www.wikipedia.org/wiki/Global_Peace_Index.
9. Democracy Index 2010. Democracy in Retreat. A Report from the Economist Intelligence Unit [Electronic resource]. – <http://www.eiu.com>.

10. Vanhanen T. Measures of Democracy 1810–2010 [Electronic resource]. – <http://www.fsd.uta.fi>.
11. Статистические данные проекта «Correlates of war» [Electronic resource]. – [http://correlatesofwar.org/COW2 %20Data/Capabilities/NMC_v4_0.csv](http://correlatesofwar.org/COW2%20Data/Capabilities/NMC_v4_0.csv).
12. Jo D.-J., Gartzke E. Latent Nuclear Weapons Production Capability. Data Notes. 2007 [Electronic resource]. – <http://www.columbia.edu/~eg589>.
13. Grebe J. Occasional Paper VII. The Global Militarization Index (GMI). BICC. February 2011 [Electronic resource]. – <http://www.bicc.de>.
14. Global Peace Index [Electronic resource]. – <http://www.visionofhumanity.org/>.
15. KOF Index of Globalization [Electronic resource]. – <http://globalization.kof.ethz.ch/>.
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» // J. of Conflict Resolution. 2007. Vol. 51(1).

Methods of Fuzzy Logic as They are Applied to Model the Process of Proliferation of Nuclear Weapons

A. N. Vereshchaga, A. K. Chernyshev

The model of proliferation of nuclear weapons (NW) (the step of making a decision about NW development), based on the method known as fuzzy logic is presented. Certain internal and external factors, characterizing the events associated with the “nuclear choice” made by some state are used as the input parameters for the model. The well-known international indices are used to formulate the functions of membership of the fuzzy functions involved. Presented below are the test results of estimations of widely known historical facts about nuclear states (those recognized officially and identified de-facto) and the so-called threshold states, which renounced the idea of further development of NW. Alternative fields of application of the proliferation model in question are enlisted.