

АДАПТАЦИЯ МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕРОЯТНОСТЕЙ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ, ВЫЗВАННЫХ НАВОДНЕНИЯМИ

К.т.н. О. О. Замирец, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е.Жуковского «Харьковский авиационный институт», г. Харьков

Метод определения вероятностей возникновения природных явлений адаптирован под ситуации, вызванные наводнением. Усовершенствован метод определения степеней максимального и комбинаторного влияния факторов на возникновение чрезвычайной ситуации природного характера.

Метод визначення ймовірностей виникнення природних явищ адаптований під ситуації, спричинені повінню. Удосконалено метод визначення ступенів максимального і комбінаторного впливу факторів на виникнення надзвичайної ситуації природного характеру.

The method of determining the probability of natural disasters' occurrence is adapted to situations caused by flooding. The method of determining degrees of factors' maximal and combinatorial influence in natural disaster's occurrence has been improved.

Ключевые слова: методы, нечеткие выводы, природные катастрофы, наводнения.

Актуальность исследования

Одним из факторов повышенного риска возникновения водных стихий является водный фактор. Проявления вредного воздействия стихийных явлений приводят к крупномасштабным затоплениям и подтоплениям территорий, поражение инженерных инфраструктур и коммуникаций, часто с катастрофическими и разрушительными последствиями.

Наводнения приводят к быстрому затоплению обширных территорий, при этом травмируются и гибнут люди, сельскохозяйственные и дикие животные, разрушаются или повреждаются жилые, промышленные здания и сооружения, коммунальные объекты, дорожные сети, линии связи и электропередач. Изменяются структура почвы и рельеф местности. В ряде случаев наводнения приводят к оползням, обвалам, селевым потокам.

Адаптация разработанного метода определения вероятностей возникновения природных явлений [1] под ситуации, вызванных наводнением, является актуальной и имеет важное практическое значение.

Анализ факторов, влияющих на возникновение ЧС и отсев избыточных данных

Для более точной оценки ситуации и определения приоритетности принятия решений необходимо провести анализ факторов возникновения и негативных последствий чрезвычайных ситуаций по принципу черного ящика [1].

Факторами, влияющими на возникновения наводнений, являются продолжительные осадки, прорыв гидротехнических сооружений, обильный и сосредоточенный приток воды при таянии снега и ледников, ветровые нагоны воды в устья рек и на морское побережье, заторы и зажоры, выход на поверхность большого количества подземных вод, оползни и обвалы в долинах водотоков и т.д. При прогнозировании ситуации наводнения целесообразно учитывать и характеристики водных объектов, а именно объем, расход воды и коэффициент стока реки.

Рельеф исследуемой местности играет важную роль. В зависимости от стадии развития реки поперечный профиль ее долины бывает различным [2]. В пределах молодых горных районов и высоких плоскогорий вырабатываются глубокие долины с крутыми, иногда отвесными склонами. По форме поперечного профиля выделяют несколько разновидностей (рис. 1).

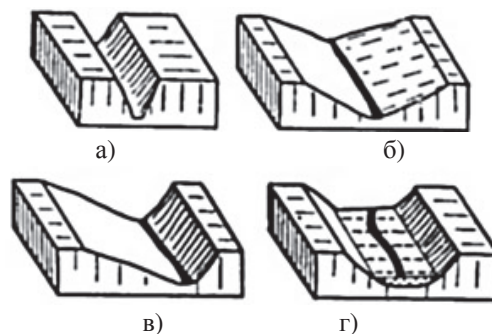


Рис. 1. Поперечные профили долин:

- а, б) — долина с V-образным поперечным профилем;
в) — асимметричная долина;
г) — плоскодонная долина с развитой поймой (U-образная)

К наиболее узким и своеобразным формам относится теснина, или щель, которая представляет собой как бы глубокую расширенную трещину с отвесными вертикальными иногда даже нависающими стенками и шириной менее метра. Хорошо известны также ущелья-каньоны. Это узкие крутостенные и глубоко врезанные долины. Широко распространена в горах V-образная форма долины, характеризующаяся узким дном и достаточно широко раскрытой верхней частью, что образует как бы треугольник [3].

Научный анализ литературы на гидрогеологическую тематику показал, что целесообразным является учет рельефа в качестве фактора возникновения наводнений, особенно на территории Украины, так как большинство наводнений

происходит на западной части страны, где преобладает горная местность.

Учитывая рельеф местности, необходимо также исследовать территорию на наличие лесных объектов, так как одним из основных факторов возникновения наводнений является вырубка лесов. Одним из моментов, побудивших к проведению заседания Лесоводческой академии наук Украины в 2008 году, стало утверждение, недавно обнародованное большинством средств массовой информации, что масштабные наводнения в западных областях Украины являются следствием вырубки лесов в Карпатах.

Анализируя факторы, влияющие на возникновение наводнений, необходимо учитывать водопроницаемость грунта на исследуемых территориях и их растительный покров. Важным показателем является скорость поглощения грунтом влаги – при ливневых осадках, таянии снежного покрова, разливе реки. Растительность же имеет свойство задерживать распространение воды в условиях наводнения, а также влияет на водопроницаемость грунта.

При наводнении возможно возникновение таких негативных последствий, как пожары (вследствие обрывов и короткого замыкания электрических кабелей и проводов); обрушение зданий, сооружений (под воздействием водного потока и вследствие размыва основания); заболевания людей и сельскохозяйственных животных (вследствие загрязнения питьевой воды и продуктов питания) и др. Структурная схема факторов возникновения и последствий наводнений приведена на рисунке 2 [4].

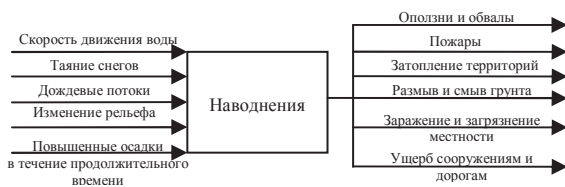


Рис. 2. Структурная схема факторов возникновения и последствий наводнений

В результате анализа всех факторов, влияющих на возникновение наводнений, с помощью теории экспертных оценок выделены основные факторы, представленные на рисунке 3.

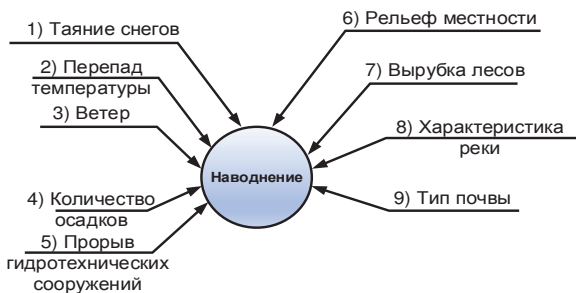


Рис. 3. Факторы, влияющие на возникновение наводнения

Таяние снегов, перепад температуры, ветер, тип почвы, осадки, рельеф местности, характеристика реки являются детерминированными факторами, а вырубка

лесов, прорыв гидротехнических сооружений – случайными.

Фактор «количество осадков» учитывает также интенсивность и продолжительность осадков на протяжении 5 дней. Перепад температуры подразумевает резкое потепление, что приводит к таянию ледников и снега. Фактор «ветер» влияет на скорость и направление течения воды. Рельеф местности влияет на формирование стока воды и на скорость. Важным фактором является также вырубка лесов, которая приводит к лавинам снега, оползням, образованию заторов. Под фактором «характеристика реки» подразумевается наличие в русле сужений, мелей, крутых поворотов, островов и других препятствий. При учете этого фактора целесообразно анализировать коэффициент стока воды, расход, бассейн реки. Тип почвы влияет на водопроницаемость грунта.

На основании экспертного анализа были выявлены факторы возникновения наводнений, которые встречаются довольно редко. Таким образом, к категории избыточных данных отнесены: цунами, загромождение русла реки льдом или бревнами при сплаве леса (заторы), закупоривание русла реки внутренним льдом (зажоры), выход на поверхность большого количества подземных вод.

На основе анализа всех существующих факторов, влияющих на возникновение ЧС, проведен отсев избыточных данных. В результате выбраны необходимые факторы для дальнейшей оценки степени опасности возникновения ЧС (рис. 3).

Определение коэффициентов комбинаторного влияния факторов

На основе теории экспертных оценок, данных МЧС, статистических характеристик возникновения наводнения определены степени комбинаторного влияния факторов, представленные в качестве интервалов весов дуг, в результате чего составлен ориентированный граф (рис. 4). Вершины 1–9 графа соответствуют схеме, представленной на рис. 3, вершина 10 – объект исследования (наводнение).

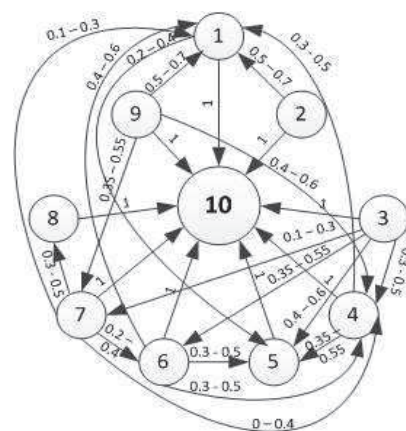


Рис. 4. Ориентированный граф факторов влияния на возникновение наводнения

При исследовании связей, показывающих взаимодействие факторов друг с другом (рис. 4) и для определения интервалов степени их взаимного влияния

построена интервальная матрица достижимости [1] с последующим применением метода поиска кратчайших путей Флойда. На основе матрицы достижимости определяется степень влияния взаимосвязанных факторов, усиливающих влияние на возникновение наводнения.

Матрица интервалов D определяется заданными величинами каждого ее элемента (u, v), равными длине кратчайшей дуги, соединяющей вершину u с вершиной v. В соответствии с полученной матрицей достижимости D были найдены коэффициенты взаимодействия факторов, влияющих на возникновение чрезвычайной ситуации, в виде интервалов (табл. 1).

Анализ значений матрицы достижимости позволил классифицировать все возможные факторы, влияющие на возникновение пожаров, на три основные группы от степени максимального – до минимального влияния:

1. Группа факторов максимального влияния:
 - количество осадков;
 - вырубка лесов;
 - рельеф местности;
2. Группа факторов минимального влияния:
 - перепад температуры окружающей среды;
 - тип почвы;
 - характеристика реки;
3. Группа переходных факторов или «джокеры»:
 - ветер;
 - наличие снега;
 - прорыв дамбы.

Таблица 1

Коэффициенты взаимодействия факторов между собой

Фактор	Коэффициент
Наличие снега	[0,41...0,64]
Перепад температуры	[0,15...0,4]
Ветер	[0,37...0,61]
Количество осадков	[0,525...0,725]
Прорыв дамбы	[0,32...0,57]
Рельеф местности	[0,42...0,65]
Вырубка лесов	[0,53...0,76]
Характеристика реки	[0,25...0,525]
Тип почвы	[0,2...0,475]

Метод определения коэффициентов комбинаторного влияния факторов, базирующийся на теории экспертных оценок [5], графоаналитическом и матричном методе с поиском максимальных количественных значений по алгоритму Флойда, который в отличие от известных позволяет определить взаимосвязи между факторами и произвести

классификацию по группам в зависимости от степени влияния, впервые был адаптирован на наводнениях.

Оценка степени опасности чрезвычайной ситуации на основе нечеткого моделирования

Для оценки степени опасности чрезвычайной ситуации, вызванной наводнением, применен и адаптирован метод оценки уровня опасности ЧС с использованием нечеткого моделирования [1]. В качестве алгоритма нечеткого вывода был выбран алгоритм Ларсена.

Определение лингвистических переменных

На данном этапе разработанного метода определены входные и выходные лингвистические переменные для процесса нечеткого моделирования.

Введены следующие обозначения – F – вероятность возникновения наводнения, является выходной лингвистической переменной с качественными заключениями: L (light) «малая вероятность возникновения», M (medium) «средняя вероятность возникновения», H (high) «большая вероятность возникновения» чрезвычайной ситуации:

$$F = \{L, M, H\}.$$

В качестве входных параметров рассмотрены лингвистические переменные вида:

- F_{pr} – вероятность возникновения наводнения в зависимости от количества, продолжительности и интенсивности осадков;
- F_T – вероятность возникновения наводнения в зависимости от рельефа местности;
- F_C – вероятность возникновения наводнения в зависимости от вырубки лесов;
- F_t – вероятность возникновения наводнения в зависимости от перепада температуры;
- F_S – вероятность возникновения наводнения в зависимости от типа почвы;
- F_R – вероятность возникновения наводнения в зависимости от характеристики реки;
- F_W – вероятность возникновения наводнения в зависимости от ветра;
- F_{sn} – вероятность возникновения наводнения в зависимости от наличия снежного покрова;
- F_H – вероятность возникновения наводнения в зависимости от прорыва гидротехнических сооружений.

Качественные заключения перечисленных коэффициентов совпадают с заключениями выходной лингвистической переменной F.

Для переменной F_C были введены качественные заключения: множество F (“far” – лесные объекты находятся далеко), M (“medium” – среднее расстояние) и Cl (“close” – близко расположено к лесу).

Для переменной F_S присвоены качественные заключения множеств D (дерново-подзолистая почва), F (лесная почва), S (песок) и В1 (черноземы).

После определения всех входных и выходных лингвистических переменных необходимо сформировать

терм-множества для каждой из групп и ввести коэффициенты усиления для некоторых факторов.

Формирование терм-множеств для каждой из групп переменных

Каждое качественное заключение выходной лингвистической переменной $F = (L, M, H)$ имеет своё терм-множество на промежутке $[0...10]$, которое описывается функцией принадлежности $\mu(x)$ (рис. 5).

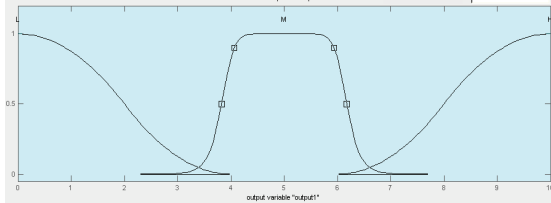


Рис. 5. Терм-множества выходной лингвистической переменной F – вероятность возникновения наводнения

Вид функций принадлежности качественных заключений выходной лингвистической переменной представлен в таблице 2.

Точки пересечения двух функций принадлежности A (2,54; 0,287) и B (6,4; 0,345) определяют зону неопределенности, значения которой принадлежат двум терм-множествам.

Таблица 2

Функции принадлежности выходной лингвистической переменной

Промежуток функции	Функция принадлежности
$\forall x \in [0; 4[\exists$	$\mu(x) = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} * \cos(\pi * \frac{x - 0}{4})$
$\forall x \in [2; 3,5[\exists$	$\mu(x) = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} * \cos(\pi * \frac{x - 3,5}{1,5})$
$\forall x \in [3,5; 5,5[\exists$	$\mu(x) = 1$
$\forall x \in [5,5; 7[\exists$	$\mu(x) = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} * \cos(\pi * \frac{x - 5,5}{1,5})$
$\forall x \in [6; 10[\exists$	$\mu(x) = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} * \cos(\pi * \frac{x - 10}{4})$

Формирование терм-множеств для факторов максимального, минимального влияния и переходных факторов

При оценке вероятности возникновения наводнения учитывали следующие факторы максимального влияния, которые были определены ранее: количество осадков, рельеф местности, вырубка лесов. Эти факторы являются входными лингвистическими переменными – F_{pr}, F_T, F_c .

В качестве коэффициента усиления для фактора «Количество осадков» учитывалась продолжительность осадков (0.1–20 часов) и интенсивность осадков (количество / время – 0.005–200 мм/час). При учете рельефа местности введен коэффициент усиления, который определяет крутизну склона. Для фактора «Вырубка лесов» коэффициентом является территория вырубки – 5–100 кв. м.

При оценке вероятности возникновения наводнения учитывали следующие факторы минимального влияния, которые были определены ранее: влагосодержание верхнего органического слоя лесной почвы, вероятность молнии и тип леса.

В качестве коэффициента усиления для фактора «Тип почвы» учитывался коэффициент испарения влаги и растительность (поле, лес, трава). Каждый тип почвы имеет определенную водопроницаемость – водопроницающая способность, которая определяется слоем воды (в мм), поступающей в почву через её поверхность в единицу времени: чернозем 170–330 мм, песок 300–400 мм, лесная почва 330 – 500 мм, дерново-подзолистая почва 500–550 мм [6]. Терм-множества для этого фактора классифицированы соответственно влагосодержанию почвы. В некоторых случаях входными параметрами могут быть и другие типы почв, не приведенные в данных терм-множествах, тогда целесообразно применять коэффициент водопроницаемости почвы.

В качестве фактора «характеристики реки» учитывался коэффициент стока реки, который определяется как отношение объема стока воды в реке к количеству атмосферных осадков, выпавших на площадь бассейна за одно и то же время (величина безмерная или выраженная в %) [7].

Для данного фактора учитывался коэффициент стока реки в течении пяти дней, который рассчитывается по формуле:

$$K = \frac{W}{(x * F)} * 100\% , \tag{1}$$

где W – объем стока, m^3 , определяется как произведение Q – расхода воды, $m^3/с$, на T – период времени, с: $W = Q * T$;

x – количество атмосферных осадков, мм;

F – площадь бассейна реки [8].

Для данного фактора минимального влияния введен коэффициент усиления, который определяет сужения, повороты, острова и другие характеристики реки.

При оценке вероятности возникновения наводнения учитывали следующие переходные факторы, которые были определены ранее: ветер, наличие снежного покрова и прорыв гидротехнических сооружений.

Фактор «наличие снега» определялся по метеорологическим данным на протяжении трех дней. Учитывалось либо количество осадков при температуре ниже нуля, либо процент покрытой земли снегом – 0–10 см.

Фактор «прорыв гидротехнических сооружений» определялся по характеристике дамбы, а именно год основания сооружения, ширина дамбы/плотины, ширина реки. Коэффициенты усиления для группы переходных факторов не учитывались.

Для каждого фактора определены терм-множества и построены функции принадлежности.

В результате определения лингвистических переменных и сформированных терм – множеств для каждой из групп переменных целесообразно переходить к обработке входных данных и выявлению зоны неопределенности принятия решений.

Формирование базы правил систем нечеткого вывода

Для формального представления эмпирических знаний об оценивании вероятности возникновения наводнения в зависимости от факторов максимального, минимального влияния и переходных факторов для каждой группы создана база правил систем нечеткого вывода, которая использует правила нечетких продукций.

В общем, система нечеткого вывода представлена на рисунке 6.

С учетом факторов максимального влияния – количество осадков, рельеф местности и вырубка лесов – сформирована база правил нечетких продукций. База правил нечетких продукций для факторов максимального влияния на возникновение наводнения представлена 27 правилами нечетких выводов вида.

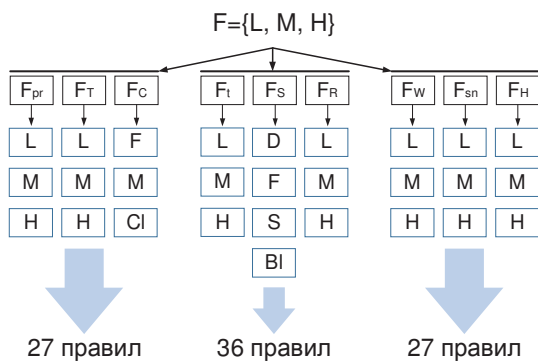


Рис. 6. Система нечеткого вывода для наводнений

Построение продукционных моделей возникновения чрезвычайных явлений

Для проведения процедуры нахождения значений функций принадлежности нечетких множеств (термов) на основе исходных данных, оцененных в соответствии с дихотомической шкалой, проведен анализ чрезвычайных ситуаций природного характера, а именно наводнений, на территории Украины и за ее пределами в промежутке 2003–2014 гг.

В качестве входных параметров учитывались: метеорологические данные для группы факторов – ветер, количество осадков, температура, картографические данные для факторов – тип почвы, характеристика реки, данные дистанционного зондирования для факторов – вырубка лесов, прорыв гидротехнических сооружений, и высотные данные топографической миссии SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) в качестве трехсекундной матрицы [9] высот исследуемых территорий для фактора «рельеф местности».

Получив исходные данные, была проведена фазификации входных переменных для группы факторов минимального влияния, максимального влияния и группы переходных факторов идентично процессу фазификации

для лесных пожаров [1]. В результате анализа графиков выявлены активные продукционные правила для каждой группы факторов влияния со степенью истинности отличной от нуля.

Далее были сформированы четкие оценки вероятности возникновения наводнений. Проведен процесс аккумуляции факторов максимального, минимального влияния и группы переходных факторов.

Полученные количественные значения вероятностей возникновения почти всех наводнений по дихотомической шкале относятся к терм-множеству High, что указывает на большую вероятность возникновения чрезвычайной ситуации на исследуемой территории именно в этот период времени.

Для сравнения полученных количественных оценок с реальными данными, изначально учитывались метеорологические данные, полученные непосредственно за 3–5 суток до возникновения ЧС. В качестве проверки соответствия полученных результатов адаптации разработанного метода и реальных данных был проведен мониторинг наводнений на исследуемых территориях.

Описание функций принадлежности степени опасности возникновения ЧС и определения их производных

Для определения количественных значений четких оценок выходной лингвистической переменной, в соответствии с агрегированием подусловий методом мин-конъюнкции, дефазификацией методом центра тяжести и активизации подзаключений нечетких правил методом prod-активизации, предложена следующая формула:

$$Y_{max} = \frac{\sum_{i=1}^{n1} X1_i * \min\{\mu_{pr}(F_{pr}); \mu_T(F_T); \mu_C(F_C)\} * \mu_Y(X1_i)}{\sum_{i=1}^{n1} \min\{\mu_{pr}(F_{pr}); \mu_T(F_T); \mu_C(F_C)\} * \mu_Y(X1_i)}$$

$$Y_{min} = \frac{\sum_{i=1}^{n2} X2_i * \min\{\mu_t(F_t); \mu_s(F_s); \mu_R(F_R)\} * \mu_Y(X2_i)}{\sum_{i=1}^{n2} \min\{\mu_t(F_t); \mu_s(F_s); \mu_R(F_R)\} * \mu_Y(X2_i)}$$

$$Y_{joker} = \frac{\sum_{i=1}^{n3} X3_i * \min\{\mu_W(F_W); \mu_{sn}(F_{sn}); \mu_H(F_H)\} * \mu_Y(X3_i)}{\sum_{i=1}^{n3} \min\{\mu_W(F_W); \mu_{sn}(F_{sn}); \mu_H(F_H)\} * \mu_Y(X3_i)}$$

где $\mu_Y(X_i^f)$ – функция принадлежности термина, который является значением некоторой выходной переменной X_i^f , заданной на универсуме Y;

$n1, n2, n3$ – число одноточечных (одноэлементных) нечетких множеств, каждое из которых характеризует единственное значение рассматриваемой выходной лингвистической переменной – количество заключений в базе правил нечетких продукций;

$\mu_N(F_N)$ – функция принадлежности нечеткого множества, соответствующего выходной переменной F_N на универсуме N;

X_i^f – переменная, соответствующая:

$$X1_i^f = \begin{cases} \mu_{pr}(F_{pr}), & \text{если } \min\{\mu_{pr}(F_{pr}); \mu_T(F_T); \mu_C(F_C)\} = \mu_{pr}(F_{pr}); \\ \mu_T(F_T), & \text{если } \min\{\mu_{pr}(F_{pr}); \mu_T(F_T); \mu_C(F_C)\} = \mu_T(F_T); \\ \mu_C(F_C), & \text{если } \min\{\mu_{pr}(F_{pr}); \mu_T(F_T); \mu_C(F_C)\} = \mu_C(F_C); \end{cases}$$

$$X2'_i = \begin{cases} \mu_z(F_z), & \text{если } \min(\mu_z(F_z); \mu_s(F_s); \mu_R(F_R)) = \mu_z(F_z); \\ \mu_s(F_s), & \text{если } \min(\mu_z(F_z); \mu_s(F_s); \mu_R(F_R)) = \mu_s(F_s); \\ \mu_R(F_R), & \text{если } \min(\mu_z(F_z); \mu_s(F_s); \mu_R(F_R)) = \mu_R(F_R); \end{cases}$$

$$X3'_i = \begin{cases} \mu_{11}(F_{11}), & \text{если } \min(\mu_{11}(F_{11}); \mu_{211}(F_{211}); \mu_R(F_R)) = \mu_{11}(F_{11}); \\ \mu_{211}(F_{211}), & \text{если } \min(\mu_{11}(F_{11}); \mu_{211}(F_{211}); \mu_R(F_R)) = \mu_{211}(F_{211}); \\ \mu_R(F_R), & \text{если } \min(\mu_{11}(F_{11}); \mu_{211}(F_{211}); \mu_R(F_R)) = \mu_R(F_R). \end{cases}$$

Определение интервальных оценок факторов влияния проводилось с учетом степени воздействия на ЧС трех групп факторов влияния на возникновение ЧС. Шкала факторов минимального влияния на возникновение наводнения соответствует промежутку [1,14...8,86], шкала факторов максимального влияния – [3,14...8,86], шкала воздействия на ЧС переходных факторов – [1,14...8,76].

После объединения трёх шкал факторов влияния на возникновение наводнений была определена тройная зона пересечения – [3,14...8,76] (рис. 7).

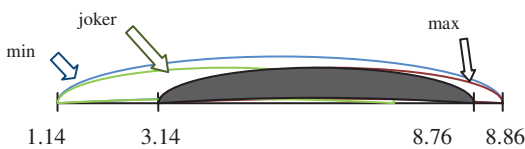


Рис. 7. Шкала влияния исходных факторов на выходную лингвистическую переменную

В соответствии с определенными интервальными оценками факторов влияния на возникновение ЧС была построена и аналитически описана функция принадлежности выходной лингвистической переменной F – вероятности возникновения наводнения. Результат после проведенной операции аккумуляции значений трёх групп факторов влияния на возникновение наводнений – промежутки [3,14...8,76] представлен на рисунке 8.

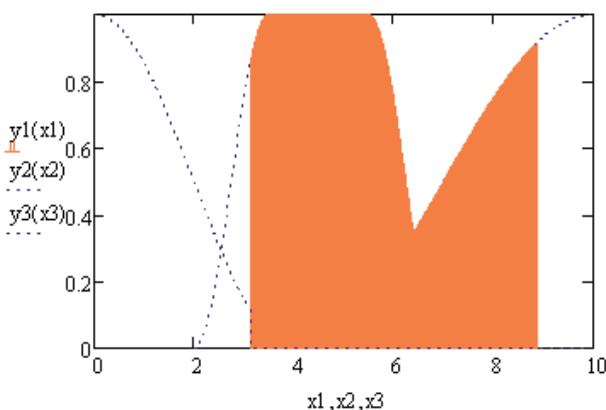


Рис. 8. Результат функции принадлежности переменной F – интервал пересечения значений трех групп факторов

Точки пересечения двух функций принадлежности определяют зону пересечения двух качественных подзаключений выходной переменной (зону неопределенности). Для наводнений такими точками являются С [2,54; 0,29] и D [6,4; 0,34].

Выводы

Преобразование формализованной схемы содержательного описания модели наводнения в ее математическую модель в виде ориентированного графа позволило визуально представить содержательную схему ЧС на основе всех имеющихся о ней знаний, результатов натуральных обследований сходных ситуаций, консультаций с экспертами и изучения научной литературы.

Усовершенствованный ранее метод определения степеней максимального и комбинаторного влияния факторов на возникновение чрезвычайной ситуации, который в отличие от известных позволяет сократить время принятия решений о предотвращении последствий опасных природных процессов был адаптирован под ситуации с наводнениями. В результате реализации данного метода получена классификация факторов по группам в зависимости от интервальных оценок степени влияния на возникновение наводнения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Бутенко, О. С., Замирец, О. О. Метод определения вероятностей возникновения чрезвычайных ситуаций с использованием нечеткого моделирования [Текст] / О. О. Замирец, О. С. Бутенко // *Технология приборостроения*. – 2014. – Вып. 3. – С. 38–43
2. Левитес, Я. М. *Общая и историческая геология* [Текст] / Я. М. Левитес. – Недра, 1965. – 286 с.
3. Горшков, Г. П. *Общая геология: учебник для вузов* [Текст] / Г. П. Горшков, А. Ф. Якушева – М. : Изд-во МГУ, 1973. – 398 с.
4. Замирец, О. О. Особенности построения системы поддержки принятия решений в условиях чрезвычайных ситуаций [Текст] / О. О. Замирец // *Системы обработки информации : сб. науч. пр. / Харк. ун-т Повітр. Сил ім. Івана Кожедуба*. – 2014. – Вып. 2 (118). – С. 273–276
5. Zamirets, O. O. The determination of degrees of combinatorial influence of the natural phenomena occurrence's factors [Text] / O. O. Zamirets, O. S. Butenko // *Nauka i Studia. – Przemysl, Poland*, 2015. – 5 (136) – P. 81-87
6. *Лесная энциклопедия: В 2-х т.* [Текст] / Гл.ред. Воробьев Г. И.; Ред.кол.: Анучин Н. А., Атрохин В. Г., Виноградов В. Н. и др. – М. : Сов. энциклопедия, 1985. – 563 с.
7. Любушкина С. Г. *Общее землеведение* [Текст] : учеб. пособие / С. Г. Любушкина [и др.] ; под общ. ред. А. В. Чернова. - М. : Просвещение, 2004. – 288 с.
8. Михеев, П. В. Регулирование русел рек в мелиоративных целях [Текст] / П. В. Михеев, Д. П. Юневич. – Гос. изд-во сельхоз. лит-ры, 1959. – 271 с.
9. LaLonde, T. L. *The Influence of Land Cover/ Land Use Characteristics on Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) Elevation Error: Case Studies from Louisiana and Thailand* [Text] / T. L. LaLonde. – UMI, 2008. – 175 p.