

УДК 556.06

С.С. КРАСНИЦКИЙ, О.С. БУТЕНКО, Р.Э. ПАЩЕНКО

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина

МЕТОД РАСЧЕТА КОЭФФИЦИЕНТОВ МАКСИМАЛЬНОГО ВЛИЯНИЯ ФАКТОРОВ НА ВОЗНИКНОВЕНИЕ ПАВОДКОВЫХ СИТУАЦИЙ

Предложен подход к определению коэффициентов максимального влияния факторов для прогнозирования наводнений. Построен граф усиления факторов влияния друг на друга и на вероятность возникновения наводнения в целом. Граф усиления факторов разбит на три подграфа, для уменьшения количества вычислений. На основании проведенной экспертной оценки влияния факторов друг на друга и на наводнение с использованием нечеткой логики, определены коэффициенты максимального влияния факторов на наводнение. Полученные данные результирующей матрицы смежности графа усиления служат для построения краткосрочного прогноза возникновения наводнения.

Ключевые слова: факторы влияния, граф усиления факторов влияния, нечеткая логика, коэффициенты максимального влияния факторов, краткосрочный прогноз.

Введение

В настоящее время проблема прогнозирования наводнений актуальна практически для всех уголков земного шара. Учитывая то, что наибольший экономический ущерб наносится наводнениями, имеющими паводковый характер, их прогнозирование имеет большое практическое значение, поскольку позволяет предотвратить вызванные им негативные последствия.

В результате анализа причин возникновения паводковых наводнений, были выделены следующие факторы [1], влияющие на возникновение наводнения: количество осадков, их интенсивность, продолжительность, площадь охвата, предшествующее выпадение осадков; увлажненность и водопроницаемость почвы; рельеф бассейна. Установлено, что эти причины связаны с множеством факторов, им предшествующим. Количество осадков формируется группой погодных атмосферных факторов. Увлажненность и водопроницаемость почвы в большой степени зависит от группы антропогенных факторов. Рельеф бассейна зависит от группы географических факторов. Однако, не все из вышеперечисленных факторов известны заранее. Выбор факторов ограничивается статистическими данными, которые рассматриваются как случайный стационарный процесс. Информация представляется в виде временных рядов, данных о местности для которой проводится прогнозирование.

Анализ существующих методов прогнозирования наводнений позволил выделить ряд недостатков, присущих данным методам:

- во-первых, не во всех методах учитывается

влияние многих факторов, например, в работе [2] прогнозирование паводкового наводнения происходит с учетом только структуры речного бассейна и всех его особенностей, но не учитывается влияние атмосферных явлений, а в работе [3] учитываются временные факторы, параметры притока и стока, но не учитываются все остальные факторы влияния;

- во-вторых, многие методы не учитывают различные шкалы измерений факторов влияния. Так, в работе [4] предлагается осуществлять моделирование наводнения с выбором влияющих факторов на основе регионального подхода, но факторы влияния при этом представляются не в единой шкале измерений, что не позволяет комплексно их использовать и проводить оценку факторов влияния друг на друга и на наводнение в целом;

- в-третьих, все вышеуказанные методы чувствительны к точности определения (измерения) факторов влияния.

Таким образом, на возникновение наводнения влияет большое количество факторов и они (факторы) имеют различную природу возникновения (природная, антропогенная), а полученные данные об этих факторах (их количественное представление), имеют разные шкалы измерений.

Для прогнозирования наводнений при учете большого количества факторов влияния необходимо разработать метод, позволяющий определять коэффициенты максимального влияния факторов для решения задачи прогнозирования паводковых наводнений. При этом коэффициенты максимального влияния должны учитывать априорную информацию о факторах влияния (данные рельефа, статистический анализ погодных условий, факторы антропо-

генной деятельности), которые могут быть определены заранее. Кроме того, данные коэффициенты должны быть получены без априорной информации о длительности наводнения и количестве выпавших осадков.

Цель статьи: рассмотреть возможность получения коэффициентов максимального влияния факторов на наводнение с использованием элементов нечеткой логики для прогнозирования возникновения паводковых наводнений.

1. Анализ факторов, влияющих на паводковое наводнение

Для анализа факторов влияния и определения степени их влияния (вклада) на возникновение наводнений, рассмотрены статистические данные по конкретному региону за несколько десятилетий. Такой анализ проведен в [5] на примере района села Подбережье Ивано-Франковской области в период с 1991 года по 2011 год. Сильные наводнения в этом районе наблюдались в ноябре 1998 года, в марте 2001 года, в июле 2008 года и 2010 года, а также в июне 2011 года.

Условно разделим на группы возможные факторы, влияющие на наводнения:

- 1) географические факторы (водные – реки, озера; рельеф – горы, долины);
- 2) атмосферные факторы (температура, давление, скорость и направление ветра, количество осадков, облачность);
- 3) антропогенные (вырубка леса, разработка песка, гидросооружения).

2. Построение графа усиления для анализа взаимодействия факторов влияния на объект

Для установления причинно-следственных связей и коэффициентов влияния между факторами, влияющими на паводковые наводнения, в работе [5] были выбраны факторы: скорости ветра ($V_{в.ср.}$), среднего количества осадков ($Q_{ос}$), средней температуры воздуха ($T_{ср.}$), атмосферного давления (P), облачности ($Об$), рельефа в заданной зоне (R), водных объектов ($ВО$), разработки песка ($РП$), вырубки леса ($ВЛ$), гидросооружений ($ГС$). Анализ факторов влияния, проведенный в работе [5], показал, что они являются критериальным деревом, со всеми его связями и подмножествами иерархии и представляют собой гиперграфовую структуру. Вершинами графа являются подмножества факторов (критериев), влияющих друг на друга, а ребра гиперграфа, в данном случае, являются дугами и соединяют вершины.

Вершина, из которой выходит дуга, оказывает влияние на вершину, в которую дуга входит.

Увеличение скорости обработки данных и получения краткосрочного прогноза, достигается за счет разбиения факторов на группы. На основе анализа факторов влияния, проведенного в работе [5], проведем разбиение факторов на группы: быстро изменяющиеся (БИ)- к ним относятся атмосферные факторы, имеющие среднюю скорость изменения (СИ) – антропогенные факторы и медленно изменяющиеся (МИ) – географические факторы.

К быстро изменяющимся факторам относятся атмосферные факторы, такие как: давление, температура воздуха, облачность, количество осадков, скорость ветра. К факторам, имеющим среднюю скорость изменения относятся: разработка песка и вырубка леса. К медленно изменяющимся факторам относятся: рельеф местности, гидросооружения, водные объекты.

На основании этих групп факторов строится три подграфа усиления влияния факторов на объект [6]. В зависимости от групп факторов можно будет исключать из расчетов данные по графу МИ-СИ (рис. 2) на несколько месяцев потому, что вычислив данные в первый раз они не изменяются несколько месяцев и нет необходимости в повторных расчетах. Графы взаимного влияния БИ-МИ факторов, МИ-СИ факторов и БИ-СИ факторов, представлены на рис. 1-3 соответственно.

Рассмотренные факторы представляют собой статистические данные контактных методов исследований, за долгий промежуток времени (десятилетия). Данные такого рода можно представить в виде последовательности дискретных измерений с указанием времени этих измерений.

Такой тип данных называется временным рядом. Все измеренные величины временных рядов (оцененные факторы) являются одномерными временными рядами. Кроме того, все рассмотренные временные ряды содержат разнородную информацию различных шкал измерений. Выявить и сравнить степень влияния разнородных факторов друг на друга и на наводнение, имея информацию, представленную в таком виде, невозможно. Необходимо привести данные к единой шкале измерения. Для приведения данных к единой шкале измерения и определения коэффициентов влияния факторов друг на друга и на наводнение, единственным подходящим методом является применение алгебры нечеткой логики, а именно нечетких высказываний о степени влияния факторов.

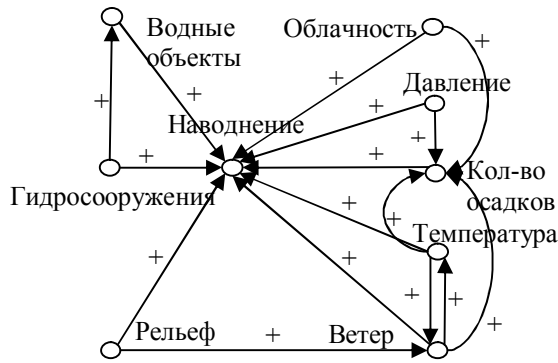


Рис. 1. Граф влияния быстро и медленно изменяющихся факторов

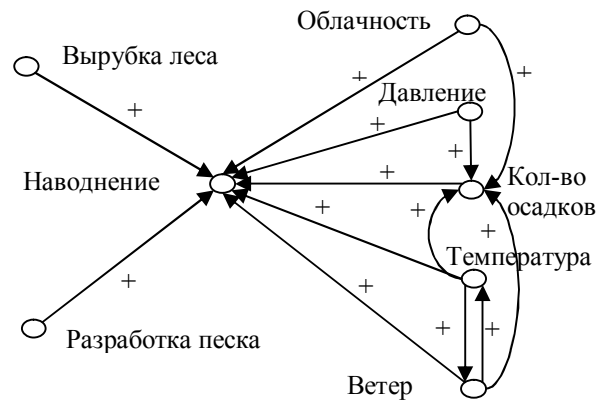


Рис. 3. Граф влияния быстро и средне изменяющихся факторов

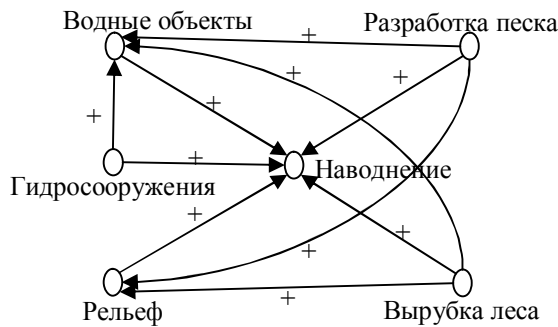


Рис. 2. Граф влияния средне и медленно изменяющихся факторов

Для решения задачи определения влияния факторов и получения числовых оценок, исключив субъективный фактор веса нечеткого высказывания [7], необходимо провести экспертную оценку влияния факторов. Результатом экспертных оценок являются матрицы смежности [5] коэффициентов факторов влияния между собой и на наводнение, которые представлены в табл. 1-3.

Таблица 1

Матрица коэффициентов влияния факторов графа медленно и средне изменяющихся факторов

	О	Р	ВО	ГС	РП	ВЛ
О	0	∞	∞	∞	∞	∞
Р	0,8	0	∞	∞	∞	∞
ВО	0,7	∞	0	∞	∞	∞
ГС	0,5	∞	0,7	0	∞	∞
РП	0,5	0,8	0,5	∞	0	∞
ВЛ	0,8	0,3	0,3	∞	∞	0

Таблица 2

Матрица коэффициентов влияния факторов графа быстро и медленно изменяющихся факторов

	О	Р	ВО	ГС	Об.	$T_{cp.}$	$V_{в.ср.}$	Q_{oc}	Р
О	0	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
Р	0,8	0	∞	∞	∞	∞	0,4	∞	∞
ВО	0,7	∞	0	∞	∞	∞	∞	∞	∞
ГС	0,5	∞	0,7	0	∞	∞	∞	∞	∞
Об.	0,1	∞	∞	∞	0	∞	∞	0,8	∞
$T_{cp.}$	0,4	∞	∞	∞	∞	0	0,4	0,3	∞
$V_{в.ср.}$	0,2	∞	∞	∞	∞	0,3	0	0,3	∞
Q_{oc}	0,9	∞	∞	∞	∞	∞	∞	0	∞
Р	0,2	∞	∞	∞	0,3	∞	∞	0,2	0

Таблица 3

Матрица коэффициентов влияния факторов графа,
имеющих быструю и среднюю скорость изменения факторов

	О	РП	ВЛ	Об.	Т _{ср.}	V _{в.ср.}	Q _{ос}	Р
О	0	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
РП	0,5	0	∞	∞	∞	∞	∞	∞
ВЛ	0,8	∞	0	∞	∞	∞	∞	∞
Об.	0,1	∞	∞	0	∞	∞	0,8	∞
Т _{ср.}	0,4	∞	∞	∞	0	0,4	0,3	∞
V _{в.ср.}	0,2	∞	∞	∞	0,3	0	0,3	∞
Q _{ос}	0,9	∞	∞	∞	∞	∞	0	∞
Р	0,2	∞	∞	0,3	∞	∞	0,2	0

3. Выявление факторов максимально влияющих на динамику объекта

Имея ориентированные графы усиления влияния факторов на аномальное наводнение и коэффициенты влияния факторов (табл. 1-3), необходимо перейти к дальнейшему анализу влияния и выявить максимально влияющие и определить степень максимального влияния. Для выполнения этой задачи проводится анализ графа, с применением алгоритма Флойда [6].

На первом шаге записывается матрица коэффициентов влияния, взаимодействия факторов и объекта (табл. 1-3). Определяется матрица D^0 , при этом задается величина каждого ее элемента (i, j) равная длине кратчайшей дуги, соединяющей вершину i с вершиной j . В случае, когда в исходном графе указанные вершины не соединяются дугами, принимается, что $d_{ij}^0 = \infty$. Кроме того, для всех $i=j$ определяется $d_{ij}^0 = 0$.

Так как по алгоритму Флойда находят минимальные пути, а в задаче поиска максимально влияющих факторов нужно искать максимум, матрицу из табл. 1-3 необходимо преобразовать. Преобразование состоит в следующем, от единицы вычитается

коэффициент не равный нулю и не равный бесконечности, и результат записывается на место прежнего коэффициента. Такое преобразование позволяет воспользоваться алгоритмом Флойда.

Теперь можно перейти ко второму шагу, для целого m , последовательно принимающего значения $1, 2, \dots, N$, определить по величинам элементов матрицы D^{m-1} величины элементов матрицы D^m , используя рекурсивное соотношение

$$D_{ij}^m = \min \left\{ D_{im}^{m-1} + D_{mj}^{m-1}, D_{ij}^{m-1} \right\}. \quad (1)$$

При определении величины каждого элемента матрицы D^m фиксировать соответствующий кратчайший путь.

По окончании данной процедуры величина элемента (i, j) матрицы D^N определяет длину кратчайшего пути, ведущего из вершины i в вершину j .

После того как найдены минимумы, от полученной длины пути снова вычитаются коэффициенты не равные нулю и не равные бесконечности, и результаты будут являться максимумом влияния факторов. Результат поиска максимума записан в табл. 4-6.

Таблица 4

Матрица максимальных влияний имеющих медленную и среднюю скорость изменения факторов

	О	Р	ВО	ГС	РП	ВЛ
О	0	∞	∞	∞	∞	∞
Р	0,8	0	∞	∞	∞	∞
ВО	0,7	∞	0	∞	∞	∞
ГС	0,5	∞	0,7	0	∞	∞
РП	0,6	0,8	0,5	∞	0	∞
ВЛ	0,8	0,3	0,3	∞	∞	0

Таблиця 5

Матрица максимальных влияний быстро и медленно изменяющихся факторов

	О	R	ВО	ГС	Об.	Т _{ср.}	V _{в.ср.}	Q _{ос}	P
О	0	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
R	0,8	0	∞	∞	∞	∞	0,4	∞	∞
ВО	0,7	∞	0	∞	∞	∞	∞	∞	∞
ГС	0,5	∞	0,7	0	∞	∞	∞	∞	∞
Об.	0,7	∞	∞	∞	0	∞	∞	0,8	∞
Т _{ср.}	0,4	∞	∞	∞	∞	0	0,4	0,3	∞
V _{в.ср.}	0,21	∞	∞	∞	∞	0,3	0	0,3	∞
Q _{ос}	0,9	∞	∞	∞	∞	∞	∞	0	∞
P	0,2	∞	∞	∞	0,3	∞	∞	0,2	0

Таблиця 6

Матрица максимальных влияний быстро средне изменяющихся факторов

	О	РП	ВЛ	Об.	Т _{ср.}	V _{в.ср.}	Q _{ос}	P
О	0	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
РП	0,5	0	∞	∞	∞	∞	∞	∞
ВЛ	0,8	∞	0	∞	∞	∞	∞	∞
Об.	0,7	∞	∞	0	∞	∞	0,8	∞
Т _{ср.}	0,4	∞	∞	∞	0	0,4	0,3	∞
V _{в.ср.}	0,21	∞	∞	∞	0,3	0	0,3	∞
Q _{ос}	0,9	∞	∞	∞	∞	∞	0	∞
P	0,2	∞	∞	0,3	∞	∞	0,2	0

Обработанные результаты (табл. 4-6), могут быть использованы при построении предиктора возникновения аномального наводнения. Результаты вычислений над данными для МИ-СИ факторов, представленные в табл. 4, используются без перерасчетов на протяжении нескольких месяцев.

Полученные результаты позволяют оценить степень максимального влияния групп факторов, представленные в табл. 4-6. Для получения данных дальнейшего прогноза необходимым этапом является построение результирующего графа влияния.

4. Построение результирующего графа усиления факторов и матрицы коэффициентов максимального влияния

После проведения вычислений, связанных с изменением факторов влияния в анализируемых группах (БИ - МИ, СИ - МИ и БИ - СИ факторов), объединим графы групп факторов, используя операцию объединения

$$G_1 = (X_1 \cup X_2 \cup X_3, A_1 \cup A_2 \cup A_3), \quad (2)$$

где G_i - множество графов; X_i - множество вершин графа; A_i - множество ребер графа.

Результат объединения графов представлен на рис. 5.

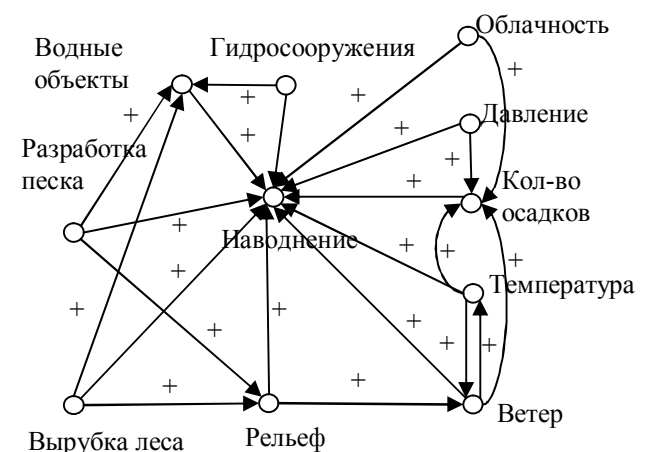


Рис. 5. Результат объединения графов

Определим их матрицу смежности. Матрица смежности результирующего графа получается опе-

рацией поэлементного логического сложения матриц смежности исходных графов. Матрица смежности отображена в табл. 7. В матрице смежности записаны коэффициенты максимального влияния факторов друг на друга и на объект, рассчитанные для графов, представленных на рис. 1-3.

Как видно из табл. 7, на наводнение особое влияние оказывают коэффициенты с наивысшим весом: рельеф, вырубка леса, количество осадков.

Таблица 7

Матрица смежности результирующего графа, включающего все факторы

	O	Q _{ос}	V _{в.ср.}	T _{ср.}	Об.	P	R	ВО	ГС	РП	ВЛ
O	0	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
Q _{ос}	0,9	0	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
V _{в.ср.}	0,21	0,3	0	0,3	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
T _{ср.}	0,4	0,3	0,4	0	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
Об.	0,7	0,8	∞	∞	0	∞	∞	∞	∞	∞	∞
P	0,2	0,2	∞	∞	0,3	0	∞	∞	∞	∞	∞
R	0,8	∞	0,4	∞	∞	∞	0	∞	∞	∞	∞
ВО	0,7	∞	∞	∞	∞	∞	∞	0	∞	∞	∞
ГС	0,5	∞	∞	∞	∞	∞	∞	0,7	0	∞	∞
РП	0,6	∞	∞	∞	∞	∞	0,8	0,5	∞	0	∞
ВЛ	0,8	∞	∞	∞	∞	∞	0,3	0,3	∞	∞	0

Заключение

1. Предложенный метод позволил получить коэффициенты максимального влияния факторов между собой и на наводнение. Полученные коэффициенты имеют сниженную чувствительность к начальным данным, за счет построения графа усиления и использования для обработки факторов алгоритма Флойда.

2. Разделение факторов на группы, используемое в методе, позволило снизить ресурсоемкие расчеты и определить расчеты, необходимые для краткосрочного прогноза.

3. Коэффициенты максимального влияния являются основой для построения предикатора с возможностью использования различных алгоритмов с небольшим вектором входящих параметров.

4. Анализ табл. 7, показывает, что наибольшее внимание при дальнейших вычислениях, необходимо уделять факторам, имеющим наибольший вес влияния на наводнение: рельеф, вырубка леса, количество осадков.

Литература

1. Наводнение [Электронный ресурс] // Википедия. – Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D0%B0%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D0%BD%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5/>. – 10.09.2011 г.

2. Методика прогнозирования паводкового наводнения [Электронный ресурс] // Академия ГПС МЧС России. – Режим доступа: <http://agps->

mipb.ru/index.php/-3-/474-3-1-metodika-prognozirovaniya-pavodkovogo-navodneniya.html. – 11.09.2011 г.

3. Международный проект мониторинга паводковой обстановки в северных территориях с использованием данных ДЗЗ [Электронный ресурс] // Югорский НИИ. – Режим доступа: www.uriit.ru/conf_erohin_50/Part_03_11.pdf. – 05.10.2011 г.

4. Махмуд, Л. Разработка методики расчета и прогноза дождевых паводков Западного Закавказья [Текст]: дис. ... канд. географ. наук: 11.00.07; защищена 20.02.84; утв. 01.11.85 / Лоджель Махмуд. – К., 1984. – 265 с.

5. Красницкий, С.С. Определение экспертных оценок факторов, влияющих на наводнение [Текст] / С.С. Красницкий, О.С. Бутенко, Р.Э. Пащенко // Системы управління, навігації та зв'язку: зб. наук. праць Центр. наук.-досл. ін-ту навігації і управління. – Вип.3(23). – К., 2013. – С. 12 – 20.

6. Бутенко, О.С. Механизм определения факторов максимального влияния на распространение нефтяной пленки [Текст] / О.С. Бутенко, С.И. Березина, С.С. Красницкий // Современные информационные технологии управления экологической безопасностью, природопользованием, мерами при чрезвычайных ситуациях: сб. науч. тр. Издат. дом "АДЕФ-Украина". – Вип.8. – К. 2009. – С. 162-171.

7. Леоненков, А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH [Текст] / А.В. Леоненков. – Спб.: БХВ Петербург, 2005. – С. 159-162.

Поступила в редакцію 11.12.2012

Рецензент: д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой производства радиоэлектронных систем летательных аппаратов В.М. Илюшко, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.

МЕТОД РОЗРАХУНКУ КОЕФІЦІЄНТІВ МАКСИМАЛЬНОГО ВПЛИВУ ФАКТОРІВ НА ВИНИКНЕННЯ ПАВОДКОВИХ СИТУАЦІЙ

С.С. Красницький, О.С. Бутенко, Р.Е. Пащенко

Запропонований підхід до визначення коефіцієнтів максимального впливу чинників для прогнозування повеней. Побудований граф посилення чинників впливу один на одного і на вірогідність виникнення повені в цілому. Граф посилення чинників розбитий на три підграфа, для зменшення кількості обчислень. На підставі проведеної експертної оцінки впливу чинників один на одного і на повінь з використанням нечіткої логіки, визначені коефіцієнти максимального впливу чинників на повінь. Отримані дані результуючої матриці суміжності графа посилення служать для побудови короткострокового прогнозу виникнення повені.

Ключові слова: чинники впливу, граф посилення чинників впливу, нечітка логіка, коефіцієнти максимального впливу чинників, короткостроковий прогноз.

THE METHOD CALCULATION COEFFICIENTS OF MAXIMAL INFLUENCE FACTORS ON ORIGIN OF FLOOD SITUATIONS

S.S. Krasnitsky, O.S. Butenko, R.E. Pascheko

Offered approach to determination of coefficients of maximal influence of factors for prognostication of floods. Built graph strengthening factors of influence on each other and on probability of origin flood at all. The graph of strengthening of factors is broken on three subgraphs, for diminishing of amount of calculations. On the basis of the conducted expert estimation of influence of factors is conducted on each other and on a flood with the use of fuzzy logic, the coefficients of maximal influence of factors are certain on a flood. Findings of resulting adjacency of graph of strengthening matrix serve for the construction of short-term prognosis origin of flood.

Keywords: factors of influence, graph of strengthening of factors of influence, fuzzy logic, coefficients of maximal influence of factors, short-term prognosis.

Красницький Сергей Сергеевич – аспирант кафедры производства радиоэлектронных систем летательных аппаратов, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина, e-mail: zinhuan32@yandex.ru.

Бутенко Ольга Станиславовна – д-р техн. наук, доцент, проф. кафедры производства радиоэлектронных систем летательных аппаратов, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина, e-mail: OS-B@bk.ru.

Пащенко Руслан Эдуардович – д-р техн. наук, проф., проф. кафедры производства радиоэлектронных систем летательных аппаратов, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина, e-mail: rus.paschenko@yandex.ua.