

бита синхронизации, количество которых выражает значение верхних разрядов такого разделения.

хранения информации, поскольку для записи 32-битного числа используются лишь семибитное окончание и бит синхронизации, что, в свою очередь, приводит к значительной экономии ресурсов памяти.

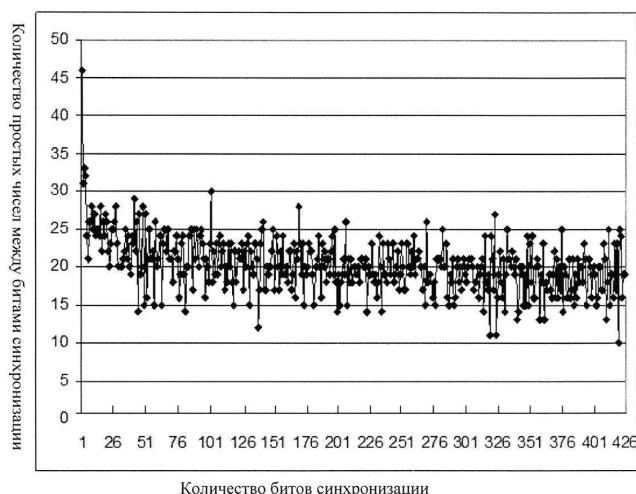


Рисунок 2 – Количество простых чисел между единичными битами синхронизации

Исследования на сходимость количества простых чисел с одинаковыми окончаниями между битами синхронизации показывают, что для эффективного сохранения последовательности МРПЧ, которые больше 64 бит, целесообразно немного изменить схему кодировки, используя 15 бит младших разрядов из последовательности и бит синхронизации, который будет сопровождать нарастание битов в старших 15 разрядах.

Следовательно, для сохранения последовательности МРПЧ до 1024 битов для каждого простого числа отмеченной разрядности необходимо 128 байт, а при использовании разработанного метода – лишь 2 байта.

Заключение. В работе разработан метод компактного кодирования многоразрядных простых чисел в двоичной системе исчисления, который позволяет существенно увеличить эффективность со-

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Серовайский, С.Я. Простые числа от Пифагора до криптографии / С.Я. Серовайский. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.tphs.info/lib/exe/fetch.php/wiki:autor:serov:2006_11_crup_tography.pdf // Математика: Республиканский научно-методический журнал. – 2009. – № 1–3. – С. 12–23.
2. Крэндалл, Р. Простые числа. Криптографические и вычислительные аспекты / Р. Крэндалл, К. Померанс. – М.: УРСС, 2011. – 664 с.
3. Уоррен, Г.С. Алгоритмические трюки для программистов / Г.С. Уоррен. – М.: Вильямс, 2007. – 288 с.
4. Минаев, В.А. Безопасность в сфере конфиденциальной информации и закон формирования простых чисел / В.А. Минаев, В.П. Хренов // Спецтехника и связь. – 2008. – № 3. – С. 45–48.
5. Василенко, О.Н. Теоретико-числовые алгоритмы в криптографии / О.Н. Василенко. – М.: МЦНМО, 2003. – 328 с.
6. Николайчук, Я.Н. Метод факторизации многоразрядных чисел на основе свойств квадратичности вычетов в системе остаточных классов / Я.Н. Николайчук, С.В. Ивасьев, И.З. Якименко, М.Н. Касянчук // Вестник Брестского государственного технического университета. – № 5 (95). – 2015. – С. 42–45.
7. Каленикова, Н.А. Ускорение факторизации в методе Ферма / Н.А. Каленикова, В.А. Минаев, В.П. Хренов // Вестник Российского нового университета. – №3. – 2010. – С. 12–16.
8. Ингам, А.Э. Распределение простых чисел / А.Э. Ингам. – М.: УРСС, 2005. – 160 с.
9. Бухштаб, А.А. Теория чисел / А.А. Бухштаб. – М.: Просвещение, 1966. – 384 с.
10. Николайчук, Я.Н. Метод сохранения простых многоразрядных чисел в базе Радемахера / Я.Н. Николайчук, И.З. Якименко, М.Н. Касянчук, С.В. Ивасьев // Труды международной молодежной математической школы «Вопросы оптимизации вычислений». – Киев: Институт кибернетики имени В.М. Глушкова НАН Украины. – 2015. – С. 159–161.

Материал поступил в редакцию 16.01.2017

NYKOLAYCHUKY A.N., IVASIEV S.V., YAKYMENKO I.Z., KASIANCHUK M.N. The method of compact encoding of the simple multi-digit numbers in the binary numerical system

In present work we proposed the method of compact encoding of the simple multi-digit numbers in the binary numerical system, which is compared with known characterized by linear logarithmic computational complexity and should significantly increases the efficiency of keeping information, provide excess of storage space, because for record 32-bit number somebody use only seven-bit edge and bit synchronization.

УДК 004.9

Дубчак Л.О., Кочан В.В., Василькив Н.М.

СРЕДСТВО УСКОРЕННОЙ ОБРАБОТКИ НЕЧЕТКИХ ДАННЫХ НА ОСНОВЕ МЕХАНИЗМА МАМДАНИ

Введение. Математическая теория нечетких множеств и нечеткая логика являются обобщениями классической теории множеств и классической формальной логики. Данные понятия были впервые предложены американским ученым Лотфи Заде в 1965 году [1]. Основной причиной появления новой теории стало наличие нечетких и приближенных рассуждений при описании человеком процессов, систем, объектов.

Основными преимуществами нечетких систем по сравнению с другими является [1, 2]:

- возможность оперировать входными данными, заданными нечетко, например, значениями, которые постоянно меняются во времени (динамические задачи);
- возможность нечеткой формализации критериев оценки и сравнения;

Дубчак Леся Орестовна, к.т.н., доцент кафедры компьютерной инженерии, факультет компьютерных информационных технологий Тернопольского национального экономического университета.

Кочан Владимир Владимирович, к.т.н., профессор кафедры информационно-вычислительных систем и управления, факультет компьютерных информационных технологий Тернопольского национального экономического университета.

Василькив Надежда Михайловна, к.т.н., доцент кафедры информационно-вычислительных систем и управления, факультет компьютерных информационных технологий Тернопольского национального экономического университета.

Украина, 46009, г. Тернополь, Тернопольская область, ул. Львовская, 11.

Физика, математика, информатика

- возможность проведения качественных оценок как входных данных, так и выведенных результатов, поскольку система оперирует не только собственно значениями данных, но и их степенью достоверности и ее распределением;
- возможность проведения быстрого моделирования сложных динамических систем и их сравнительный анализ с заданной степенью точности: оперируя принципами поведения системы, описанными нечеткими методами, во-первых, не тратится много времени на выяснение точных значений переменных и составления уравнений, которые их описывают, во-вторых, существует возможность оценить различные варианты исходных значений. В инженерных задачах применяется, как правило, механизм нечеткого вывода Мамдани [1, 3]. В нем используется минимаксная композиция нечетких множеств. Данный механизм включает следующую последовательность действий [4]:

1) процедура фаззификации: определяются степени истинности, то есть значения функций принадлежности для левых частей каждого правила (предпосылок). Для базы правил из m правил степени истинности обозначаются как $A_{jk}(x_k)$, $i = 1 \dots m$, $k = 1 \dots n$;

2) нечеткий вывод. Сначала определяются уровни "отсечки" для левой части каждого из правил: $\alpha_i = \min_j (A_{jk}(x_k))$. Далее находятся "усеченные" функции принадлежности выхода: $B_i^*(y) = \min(\alpha_i, B_i(y))$;

3) композиция или объединение полученных усеченных функций, для чего используется максимальная композиция нечетких множеств: $MF(y) = \max_i (B_i^*(y))$, где $MF(y)$ – функция принадлежности итогового нечеткого множества;

4) дефаззификация или приведение к четкости. Существует несколько методов дефаззификации (например, метод среднего центра или центроидный метод; геометрический смысл такого значения – центр тяжести для кривой $MF(y)$).

Основной недостаток нечеткого вывода, построенного на классическом механизме Мамдани, заключается в том, что для любых входных данных необходимо обрабатывать всю базу правил, то есть осуществлять три шага: 1) определение значений функций принадлежности для входных переменных; 2) минимаксная композиция; 3) дефаззификация. Такой путь обработки нечетких данных снижает быстродействие системы и требует затрат памяти.

Поэтому целью данного исследования является разработка метода обработки нечетких данных, основанный на классическом методе Мамдани, который бы удовлетворял требования к быстродействию.

Средство обработки нечетких данных. Суть предлагаемого метода заключается в том, что процесс обработки входящей нечеткой информации разделен на этапы обучения и эксплуатации.

Во время обучения устройства обработки нечетких данных определяются области функций принадлежности выхода для каждого из правил.

Во время эксплуатации осуществляются следующие шаги:

1) сравнение входных данных со значениями функций принадлежности выхода в определенных базой правил областях памяти, где хранятся значения упомянутых функций принадлежности выхода, соответствующих каждому правилу нечеткого вывода;

2) отсечки значений функций принадлежности выхода, превышающих исходные данные;

3) выбор минимальных значений функций принадлежности выхода, полученных после отсечения, и построение из них соответствующей фигуры;

4) поиск центра тяжести фигуры, полученной в результате сложения отсеченных функций принадлежности выхода [5].

Сравнение операций предлагаемого метода обработки нечеткой информации и классического при эксплуатации показывает, что все операции предлагаемого метода близки к операциям классического механизма Мамдани и по сложности не превышают их. Однако количество операций в предлагаемом методе меньше, что приводит к

росту его производительности. Уменьшение количества операций обусловлено тем, что на этапе обучения (предшествующего этапу эксплуатации) определены области функций принадлежности выхода для каждого из правил. Такая предварительная подготовка, собственно, и позволяет избежать операции нахождения наименьшего значения функций принадлежности входов, предусмотренной в методе Мамдани.

Средство обработки нечетких данных должно выполнять следующие функции:

1) принимать от сервера предварительно обработанные согласно методу обработки нечетких данных, описанному выше, соответствующие функции принадлежности выхода для каждого из правил нечеткого вывода;

2) принимать от сервера заданные текущие значения входных переменных;

3) вычислять соответствующий центр тяжести окончательной фигуры функций принадлежности выхода;

4) принимать от сервера сигнал запуска вычисления центра тяжести и подавать на сервер сигнал конца вычисления.

Вычисления центра тяжести можно реализовать, предположив, что функции принадлежности представляют собой плоскую фигуру одинаковой толщины. Тогда центр тяжести определяется всего двумя координатами, а радиус-вектор центра тяжести во время обработки нечеткой информации можно вычислить по формуле [7]:

$$r_{цт} = \frac{\sum r_i m_i}{\sum m_i}, \quad (1)$$

где $r_{цт}$ – координата центра тяжести;

r_i – координата центра тяжести i -го прямоугольника, из которых состоит фигура, центр тяжести которой необходимо найти;

m_i – масса i -го прямоугольника, из которых состоит фигура, центр тяжести которой необходимо найти.

Согласно сформулированным требованиям синтезирована структурная схема средства обработки нечетких данных (рис. 1), которое определяет центр тяжести фигуры, построенной по правилам Мамдани на основе функций принадлежности входа.

Вычислительная система, которая реализует поставленную прикладную задачу, обозначена как блок использования результатов обработки нечетких данных БИ. Перед работой БИ записывает в многоканальный блок памяти (МБП) значения предварительно обработанных (в соответствии с описанным выше методом обработки нечетких данных) функций принадлежности входа. Для этого блок управления (БУ) формирует соответствующие адреса, а сами значения функций принадлежности входа поступают на регистр памяти РГ8.

Предположим, что исследуемая нечеткая система имеет три входа и один выход. Тогда набор значений функций принадлежности первого входа записывается в запоминающее устройство ЗУ1, набор значений функций принадлежности второго входа – в запоминающее устройство ЗУ2, а набор значений функций принадлежности третьего входа – в запоминающее устройство ЗУ3 соответственно. В качестве ЗУ1–ЗУ3 можно использовать оперативное запоминающее устройство. Его недостатком является возможность сбоев при эксплуатации за счет действия влияющих факторов, например, перепадов напряжения питания (природных или искусственно созданных). Поэтому целесообразно в качестве ЗУ1–ЗУ3 использовать Flash-память, устойчивую к сбоям по напряжению питания.

При возникновении потребности решения поставленной прикладной задачи БВ задает ее входные значения. Эти параметры поступают на регистры памяти РГ1–РГ3 и записываются в них сигналом "запуск", который тоже формируется БИ. Сигнал "запуск" также запускает блок управления БУ данного средства обработки нечетких данных.

Согласно этому алгоритму БУ сначала записывает сигналом К1 в регистр памяти РГ7 начальный адрес набора значений функций принадлежности входа. Согласно этому адресу на устройство сравнения кодов УСК1–УСК3 поступают коды текущего значения функций принадлежности выхода (поступают из ЗУ1–ЗУ3) и их допустимые значения (поступают из РГ1–РГ3).

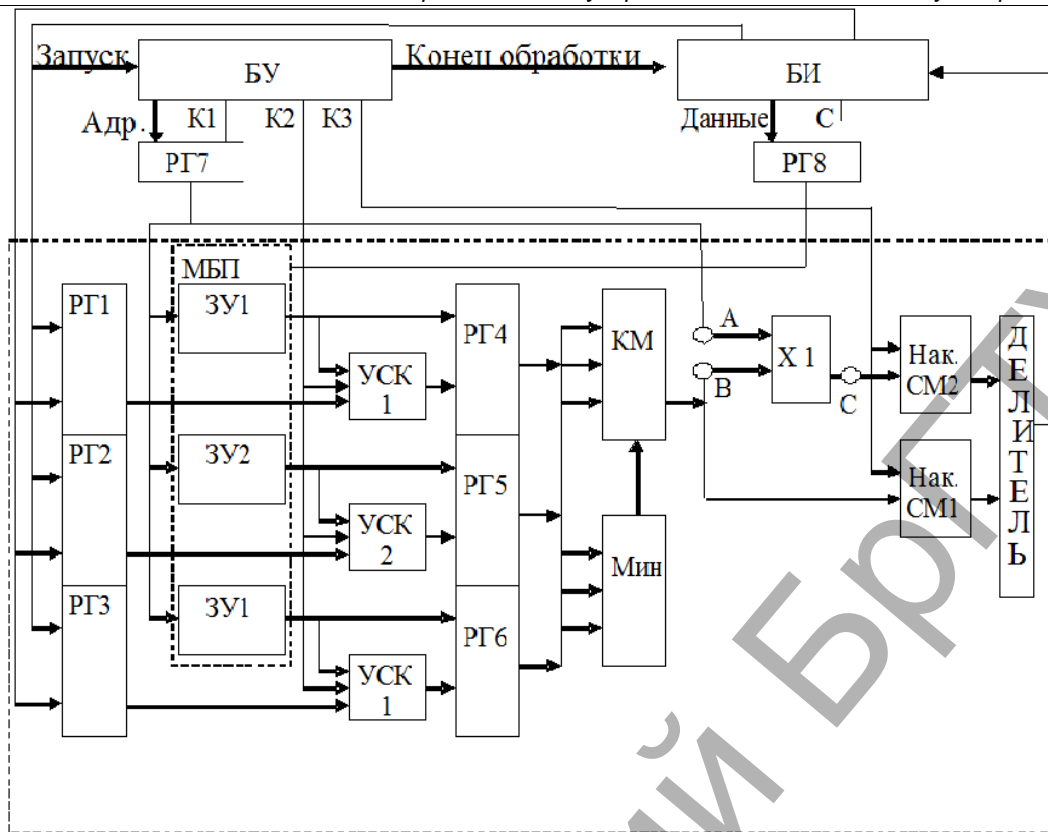
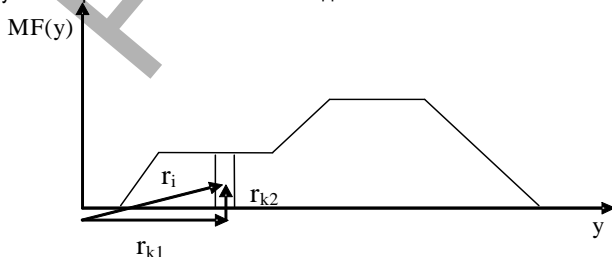


Рисунок 1 – Структурная схема средства обработки нечетких данных

По сигналу К2 срабатывают устройства сравнения кодов УСК1–УСК3. Если некоторые из значений, поступающих с РГ1–РГ3, больше соответствующих значений, поступающих с ЗУ1–ЗУ3, то последние записываются в регистры РГ4–РГ6. Если какие-то из значений, поступающих с РГ1–РГ3, меньше соответствующих значений, поступающих с ЗУ1–ЗУ3, то запись в регистры РГ4–РГ6 не проводится, в них остаются значения, которые были не больше значений, поступающих с РГ1–РГ3.

Далее, согласно механизму нечеткого вывода Мамдани, узел выбора минимального значения Мин выбирает минимальное значение функции принадлежности входа из значений, записанных в РГ1–РГ3, и, адресуя соответствующим образом коммутатор КМ, подает это значение на входы умножителя Х1 и накопительного сумматора Нак.СМ1.

Минимальное значение функции принадлежности входа из значений, записанных в РГ1–РГ3, соответствует массе текущего прямоугольника m , в формуле (1). А произведение адреса на минимальное значение из регистров РГ1–РГ3, полученный на выходе умножителя Х1, соответствует произведению $r_i m$ в числителе этой формулы. Суммирование по числителю и знаменателю формулы (1) происходит в накопительных сумматорах Нак.СМ2 и Нак.СМ1, соответственно. Значение координаты центра тяжести, полученной в результате выполнения механизма нечеткого вывода Мамдани, по формуле (1) получаем путем деления блоком делителей. Это значение поступает на блок использования БИ, где сравнивается со значениями функций принадлежности выхода, характеризующих результаты решения поставленной задачи.



Следует отметить, что в представленной на рис. 1 структурной схеме вычисления длины векторов реализованы по упрощенному методу – учитывается только абсцисса текущей точки, а ордината игнорируется. Геометрическая интерпретация метода вычисления длины векторов по структурной схеме рис. 1 представлена на рис. 2. Такое упрощение существенно уменьшает время определения координаты центра тяжести. Методической погрешностью определения координаты центра тяжести, возникающей при этом, в большинстве случаев можно пренебречь из-за того, что функции выхода определены тоже как нечеткие данные. Однако в некоторых случаях игнорирование ординаты длины векторов может привести к увеличению методической погрешности в несколько раз.

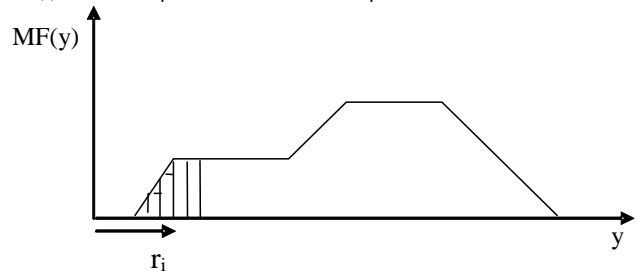


Рисунок 2 – Поиск центра тяжести фигуры без учета координаты векторов

Для устранения этой ошибки при исчислении длины векторов предложено в структурную схему рис. 1, вместо умножителя Х1, ввести узел, структурная схема которого представлена на рис. 3. Он состоит из делителя на 2, умножителей Х1 и Х2, сумматора СМ3 и блока извлечения квадратного корня БИКК. Узел подключают в схему рис. 1 шинами А, В, С, соответственно обозначениям на рис. 1 и 3. Этот узел определяет длину векторов по теореме Пифагора, согласно рис. 4.

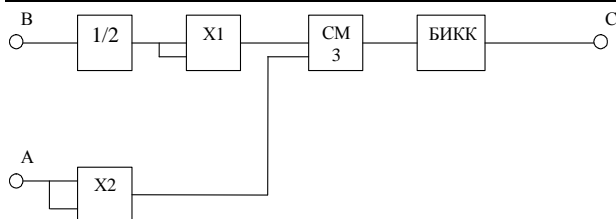


Рисунок 3 – Узел повышения точности нахождения центра тяжести при обработке нечеткой информации

Синхронизирует работу средства обработки нечетких данных блок управления БУ, который может быть выполнен по разным стандартным схемам [8].

Разработанная структурная схема модификации средства обработки нечетких данных обеспечивает высокую точность нахождения центра тяжести и повышение скорости обработки нечетких данных.

Заключение. Предложенный способ ускоренной обработки нечетких данных на основе механизма Мамдани позволяет повысить быстродействие систем, решающих прикладные инженерные задачи, путем распределения процесса его реализации на этапы обучения и эксплуатации.

Предложенное средство ускоренной обработки нечетких данных может быть реализовано с помощью современных ПЛИС, что позволит применять его в различных системах управления.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ross, T.J. Fuzzy Logic with Engineering Applications / T.J. Ross. – McGraw-Hill Inc. (USA), 1995. – 600 p.
2. Штовба, С.Д. Введение в теорию нечетких множеств и нечеткую логику / С.Д. Штовба [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://matlab.exponenta.ru/fuzzylogic/book1/>
3. Рутковская, Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л. Рутковский. – М.: Телеком, 2006. – 382 с.
4. Штовба, С.Д. Обеспечение точности и прозрачности нечеткой модели Мамдани при обучении по экспериментальным данным / С.Д. Штовба // Проблемы управления и информатики. – 2007. – №4. – С. 102–114.
5. Пристрій для обробки нечіткої інформації: патент 105676 UA, МПК G06F 15/18, G06F 19/28, G06F 17/10. / М.П. Карпінський, І.В. Васильцов, Л.О. Дубчак, В.В. Кочан (Україна); опубл. 10.06.2014.
6. Белов, М.П. Основы алгоритмизации в информационных системах: учеб. пособие / М.П. Белов. – СПб.: СЗТУ, 2003 – 85 с.
7. Карасев, А.И. Теория вероятностей и математическая статистика / А.И. Карасев. – М.: Статистика, 1979. – 279 с.
8. Шило, В.Л. Популярныe цифровые микросхемы: справочник. / В.Л. Шило. – М.: Радио и связь, 1987. – 352 с.

Материал поступил в редакцию 16.01.2017

DUBCHAK L.O., KOCHAN V.V., VASYLKIV N.M. Mean of accelerated processing fuzzy data based on the mechanism of Mamdani

This paper proposes a method of processing fuzzy data, based on the classic mechanism of Mamdani's fuzzy inference. The implementation of this method is divided into stages of learning and exploitation, which reduces the number of operations during the mean exploitation and improves its performance.

Based on the proposed method developed structural diagram of fuzzy data processing mean, that can be used for solving the applied engineering problems.

УДК 621.371:550.837.6

Янушкевич В.Ф., Кременя К.И., Заяц Е.Ю.

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ЧАСТОТНО-МОДУЛИРОВАННЫХ СИГНАЛОВ В АНИЗОТРОПНЫХ СРЕДАХ ПЛАЗМОПОДОБНОГО ТИПА

Введение. Решение задач взаимодействия электромагнитной волны (ЭМВ) и углеводородной залежи (УВЗ), находящейся на фоне гетерогенной и полифазной среды, связано с учетом сложных физических процессов над залежами углеводородов, условиями их залегания. До недавнего времени электродинамическое описание залегающей неоднородности сводилось к его представлению в виде «тела с конечной проводимостью, погруженного в среду с потерями».

В настоящее время существует несколько физических моделей залежей углеводородов, учитывающих миграцию углеводородов в среде над залежами к поверхности Земли. В этом случае воздействие электромагнитных сигналов на такое образование может быть описано как однорезонансным, так и многорезонансным взаимодействием [1–3].

В современной электроразведке наблюдается тенденция поиска новых методов, связанных с усложнением методик и технологий, преследующих сокращение времени аттестации контролируемой поверхности и улучшение качественных показателей эффективности [4]. Большинство предлагаемых методов не имеют теоретического обоснования, порой противоречат канонам радиофизики. Все это требует пристального анализа физических процессов, происходящих

над залежью углеводородов, конкретизации ее электродинамической модели для обоснования взаимодействия ЭМВ с залежью.

Целью данной работы является разработка электромагнитных методов поисков анизотропных сред плазмopodobного типа (АСПТ) на основе исследуемых характеристик поверхностного импеданса сред в режиме частотно-модулированных (ЧМ) сигналов.

Взаимодействие ЭМВ с АСПТ. Исследования по данной теме представлены в работе [5]. Тем не менее особенности взаимодействия ЭМВ с УВЗ в данном режиме воздействия требуют дополнительного анализа.

Исследуемую залежь углеводородов можно представить в виде анизотропной неоднородности на трассе связи [6].

В общем случае пространственная ориентация внешней нормали к границе раздела сред и волнового вектора \vec{k} является произвольной (рисунок 1), и процесс взаимодействия ЭМВ с локальным включением на трассе распространения радиоволн (РРВ) можно представить в виде режима наклонного падения плоской волны с вертикальной поляризацией на безграничную поверхность с анизотропным импе-

Янушкевич Виктор Францевич, к.т.н., доцент кафедры радиоэлектроники Полоцкого государственного университета.

Кременя Карина Игоревна, магистр технических наук, ассистент кафедры радиоэлектроники Полоцкого государственного университета.

Беларусь, ПГУ, 211440, Витебская обл., г. Новополоцк, ул. Блохина, 29.

Зяец Екатерина Юрьевна, магистр технических наук, ассистент кафедры информационных радиотехнологий Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Беларусь, БГУиР, 220013, г. Минск, ул. П. Бровки, 6.