



**Dr habil., Professor Petro Hrytsiuk¹⁾
Applicant Larysa Bachyshyna²⁾**

¹⁾*Head of the Economic Cybernetics Department, National University of Water and Environmental Engineering (Rivne, Ukraine)*

gritsukp@ukr.net

²⁾*Department of Applied Mathematics, National University of Water and Environmental Engineering (Rivne, Ukraine)*

Larysa_Bachyshyna@ukr.net



FORECASTING THE YIELD OF GRAIN CROPS USING FUZZY LOGIC SYSTEMS

PROGNOZOWANIE WYDAJNOŚCI UPRAW ZBOŻOWYCH Z WYKORZYSTANIEM METODY LOGIKI ROZMYTEJ

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УРОЖАЙНОСТИ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР С ИСПОЛЬ- ЗОВАНИЕМ СИСТЕМ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

Abstracts

The grain industry has a special place in the export of Ukraine. Ukraine takes the third place for some years in the world by grain supply to the foreign markets. That's why the problem solving of the agricultural production stability is one of the most important tasks of agricultural industrial complex. The successful forecasts play important role in this. The best forecasts are realized when the qualitative model of the object is developed. Two approaches of the predictive model development are considered in the paper: traditional mathematical and using fuzzy logic systems. The models take into account the influence of climatic factors on grain crops yield.

Keywords: *fuzzy logic, forecast model, grain yield, climatic factors.*

Streszczenie

W artykule omówiono dwa podejścia do budowy modelu prognostycznego wydajności upraw zbożowych: na podstawie równania regresji wielokrotnej i za pomocą rozmytych systemów logicznych. Przeprowadzono analizę wydajności upraw w zależności od warunków klimatycznych. Wykonano analizę porównawczą jakości prognoz z uwzględnieniem wyżej wymienionych dwóch modeli.

Dr habil P. Hrytsiuk, Applicant L. Bachyshyna

***Słowa kluczowe:** rozmyta logika, modele prognostyczne, wydajoność upraw zbożowych, czynniki klimatyczne.*

Аннотация

В статье рассмотрены два подхода к построению прогнозной модели урожайности зерновых культур: на основе уравнения множественной регрессии и с использованием систем нечеткой логики. Проведено исследование зависимости урожайности от погодно-климатических условий. Выполнен сравнительный анализ качества прогноза, полученного на основе построенных моделей.

***Ключевые слова:** нечеткая логика, прогнозные модели, урожайность зерновых, климатические факторы.*

Введение. Сельское хозяйство является одной из сильных сторон Украины. Продукция этой отрасли экспортируется более чем в 190 стран мира. Особое место среди экспорта занимает зерновая отрасль. Уже несколько лет подряд Украина занимает одно из первых мест в мире по поставкам зерна на внешний рынок. Зерно является не только источником продовольственной безопасности государства, но и дает возможность обеспечить животноводство зернофуражом, а промышленность – сырьем для производства продукции.

Чаще всего объем поставок и цены на мировых рынках зависят от влияния погодно-климатических условий на производство зерновых в основных странах-экспортерах этой продукции. Так в сезон 2014-2015гг. вследствие неблагоприятных погодных условий в США и Европе, и непогоды вызванной феноменом Эль-Ниньо, цены на зерновые на мировых рынках (июльские фьючерсы на пшеницу) в США выросли с \$ 170 до \$ 215 за тонну.

Но, кроме внешних, есть и внутренние факторы, которые влияли на зерновой рынок Украины в 2014/15 МГ (маркетинговом году) и продолжают влиять в сезоне 2015/16.

В первую очередь, низкая активность внутренних потребителей при высокой насыщенности рынка продукцией и активности внешних потребителей. Во-вторых, нестабильная экономическая и политичес-

кая ситуация в стране, что является причиной повышенных рисков. И, в-третьих, системные изменения условий ведения бизнеса, то есть дерегуляция. Это влияет и на зернопроизводство и на объемы поставок продукции этой отрасли на экспорт.

Но, несмотря на все трудности, как информирует министерство агрополитики и продовольствия, Украина производит зерна в 2,5 раза больше, чем потребляет. Что является хорошим условием рекордного экспорта зерновых – он может составить больше чем 36 млн. т в 2015/2016 МГ [15].

Актуальность темы исследования. Существенное влияние на урожай сельскохозяйственных культур оказывают климатические условия. Поэтому, при прогнозировании важно учитывать это воздействие. Сейчас ученые отмечают значительные изменения климата на всей планете. В последние десятилетия, по словам академика Национальной академии наук Александра Ивашенко, в Украине участились жестокие засухи и существенно повысились летние температуры, климат приобретает признаки континентальности. Темпы нарастания температуры в нашей стране сильно опережают средние планетарные показатели. Особенно рельефно проявляется такая тенденция на Юге, в зоне Степи. Соответственно, на мизерных запасах влаги, которые есть в почве после засушливой осени и бесснежной зимы, формировать урожай сельскохозяйственных культур очень сло-

жно. Такие климатические изменения вызывает и усиливает недальновидная деятельность человека, в частности, распашка территории. В зоне Степи преобразованы в пашню 62,2% территории, происходит активное уничтожение лесных насаждений (лесополос, оврагов, лесов), распаханы водоохранные зоны рек и водоемов и т.д. На юге сегодня почти нет препятствий для сильных сухих и горячих ветров из Африки и Азии, которые интенсивно высушивают землю и забирают дефицитную влагу у посевов [14].

За последние десятилетия происходит фактическое смещение границ природно-климатических зон на 100-150 км на север. Так, условия вегетации в традиционной подзоне Северной Степи (Днепропетровская, Кировоградская области и др.) в последние фактически соответствовали подзоне Южной Степи. А в Южной Степи (Херсонская, Запорожская области, Крымская АР и др.) в действительности уже проявляются признаки опустынивания. Конечно, остановить нежелательные климатические тенденции невозможно, однако, локально смягчить их негативные последствия вполне реально. На это указывают результаты исследований различных отраслей науки: физиологии растений, растениеводства, земледелия, селекции, мелиорации, климатологии, метеорологии, почвоведения, защиты растений, экологии, социологии и др.

В процессе изменений климатических условий, имеющиеся знания требуют, и будут требовать, существенного дополнения, конкретизации, системности и комплексности. В связи с этим, решение проблемы устойчивости сельско-хозяйственного производства является одной из важнейших задач агропромышленного комплекса.

Существенную помощь в этом могут оказать кратковременные и долговременные прогнозы. Они дают возможность: эффективно управлять структурой и размещением посевных площадей, улучшить внешнеторговую деятельность, удешевить импорт и увеличить доходы от экспорта

продукции; оптимизировать объемы и структуры резервных фондов и запасов.

Качественные прогнозы реализуются, когда построена адекватная математическая модель объекта. Традиционные математические методы основанные на классической, бинарной логике, которая является нетерпимой к неточности и необъективности, оперируют понятиями «истинно», «ложно», ноль, единица, не допуская при этом промежуточных значений. В то же время неопределенность системы приводит к росту рисков от принятия неэффективных решений, результатом чего могут быть негативные экономические, технические и социальные последствия. Особого влияния факторы неопределенности приобретают в сельском хозяйстве, которое является зоной рискованного производства.

Неопределенность в аграрном производстве обусловлена как организационно-экономическими, природно-биологическими, так и социальными факторами. Нестабильность ценовой политики, колебания спроса и предложения, неопределенность реализационных цен и затрат на ресурсы все это факторы, влияющие на развитие зернопроизводства. Эта отрасль тесно связана с природными факторами и, безусловно, зависит от них.

Построение стохастических моделей является одним из средств принятия управленческих решений в условиях неопределенности. Разработкой таких моделей занимались П. Саблук, П. Грицюк, В. Витлинський, С. Наконечний, А. Олійник, и др. [2-4,7,8].

Вопросы зависимости урожайности зерновых культур от климатических факторов рассматривали В. Дмитренко, Л. Попытченко, В. Калиниченко, М. Барабаш, В. Панников, Ю. Тарарико [1,5,6,9,10]. Модели, построенные вышеупомянутыми авторами, базируются на методах классической математики. Такие модели способны решить целый ряд проблем. Но решить задачи, которые не опираются на четкие количественные соотношения, достаточно трудно с помощью таких методов. Многие современные задачи управления прогнозированием просто не могут быть решены

традиционным способом по причине сложности математических моделей, которые их описывают и наличия неучтенных в моделях факторов, влияющих на различные составляющие системы.

Кроме чисто математических, количественно измеряемых величин, для моделирования сложных систем (и аграрного производства в том числе), сегодня уместным и необходимым является использование экспертной информации. Есть достаточно много экономических показателей и категорий, требующих такой оценки. Среди них: качество продукции, внешний вид, состояние погоды и т.п. Причем, не всегда удается сделать такой анализ традиционными математическими методами. Все это обуславливает использование мощного аппарата нечеткой математики. Исследования современных ученых показывают, что анализ сложной системы аграрной экономики с помощью нечеткой логики и мягких вычислений дает достаточно корректное описание. Диапазон применения нечеткой логики очень широкий: от бытовых приборов до управления сложными системами. Нечеткая логика оперирует утверждениями подобными предложениям человеческой речи. Исследователь сам определяет необходимое число термов и каждому из них ставит в соответствие некоторое значение описываемой величины. Основателем теории нечетких множеств и нечеткой логики является Лотфи Заде, профессор Калифорнийского университета в Беркли. В 1965 году он написал фундаментальный труд «Fuzzy Sets», в котором описал различные возможности практического применения своей теории [12]. Примечательно, что, сразу после выхода его статьи «Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Processes» (опубликованной в журнале IEEE Transactions on Systems), одна предприимчивая датская фирма с успехом применила изложенные в ней принципы для усовершенствования своей системы управления сложным производственным процессом. Не менее важный вклад внесли в развитие теории нечетких

множеств и нечеткой логики его последователи. Например, английский математик Э. Мамдани (Ebrahim Mamdani) в 1975 году разработал алгоритм, который был предложен в качестве метода для управления паровым двигателем. Данный алгоритм, основанный на нечетком логическом выводе, позволил избежать чрезмерно большого объема вычислений, и был по достоинству оценен специалистами. В настоящее время он получил наибольшее практическое применение в задачах нечеткого моделирования [7].

Последователями Л. Заде являются также Цукамото, Суджено, Ларсен. Каждый из них внес свой вклад в развитие алгоритмов нечеткого вывода [13].

В 1992 г. Коско (В. Kosko) была доказана теорема о нечеткой аппроксимации, согласно которой, любая из математических систем может быть аппроксимирована системой, основанной на нечеткой логике [7]. Иными словами, с помощью естественно-языковых высказываний-правил «если - то», с последующей их формализацией средствами теории нечетких множеств, можно сколь угодно точно отразить произвольную взаимосвязь «вход - выход», без использования сложного аппарата дифференциального и интегрального исчисления. То есть, системы с нечеткой логикой целесообразно применять для сложных процессов, когда нет адекватной математической модели, а также, если экспертные знания об объекте или о процессе можно сформулировать только в лингвистической форме.

Основная часть. Рассмотрим два подхода к прогнозированию урожайности зерновых: традиционный математический и средствами нечеткой логики.

Нами построены прогнозные модели урожайности для Одесской и Херсонской областей. Исходными данными для них являются значения урожайности зерновых (данные взяты из информации Держкомстата Украины), среднемесячные температуры и месячные суммы осадков по данным метеостанций, расположенных на территориях соответствующих областей

(данные взяты с сайта <http://rp5.ua>) за период 2003-2015 гг.

Модели описываются уравнением трехфакторной множественной регрессии вида: $Y = a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3$, (1), где Y – урожайность, x_i – климатические факторы.

Параметры моделей для обеих областей представлены в Таблице 1 Табличное зна-

чение F - критерия при $\alpha = 0,05$ равняется $F_{таб} = 3,86$. Поскольку $F_{факт} > F_{таб}$, можно сделать вывод об адекватности построенных моделей данным наблюдений. Критическое t-критерия Стью дента $t_{kr} = 2,20$. Следовательно, все параметры моделей являются статистически значащими.

Таблица 1. Параметры прогнозных моделей множественной регрессии

	Одесская область	Херсонская область
Факторы модели	x_1 -сумма осадков в октябре; x_2 -средняя температура апреля; x_3 - средняя температура мая	x_1 - сумма осадков в апреле; x_2 - сумма осадков в июне; x_3 - средняя температура мая
Параметры модели	$a_3 = -1,15; a_2 = 3,96; a_1 = 0,11$ $ma_3 = 0,49; ma_2 = 0,83; ma_1 = 0,11$	$a_3 = 0,60; a_2 = 0,14; a_1 = 0,29$ $ma_3 = 0,14; ma_2 = 0,04; ma_1 = 0,03$
Коэффициент детерминации	$R^2 = 0,98$	$R^2 = 0,99$
Значение F-критерия	$F = 152$	$F = 371,66$

Значение усредненной ошибки прогноза для Одесской равняется 13,3%, а для Херсонской – 15,8%. Это достаточно высокая точность прогноза урожайности зерно-

вых, для которой характерна высокая изменчивость [5]. Фактические и прогнозные значения урожайности представлены в Таблице 2.

Таблица 2. Показатели урожайности зерновых

Название области	Фактическое значение		Прогнозное значение		
	2014р (ц/га)	2015р (ц/га)	2014р (ц/га)	2015р (ц/га)	2016р (ц/га)
Одесская область	31,3	30,0	27,39	21,68	26,22
Херсонская область	28,3	35,4	28,77	35,53	29,62

Другой подход к анализу зависимости урожайности от метеофакторов – с использованием аппарата нечеткой логики. Нечеткая логика по своей природе близка к анализу проблемы человеком, который способен оценивать информацию, выбирая из большого количества данных только те, которые имеют отношение к поставленной задаче. Такой подход отличается от традиционного подхода, тем, что в нем используются вместо числовых или вместе с ними так называемые лингвистические переменные.

Простые отношения между переменными описываются с помощью нечетких правил, сложные с помощью нечетких алгорит-

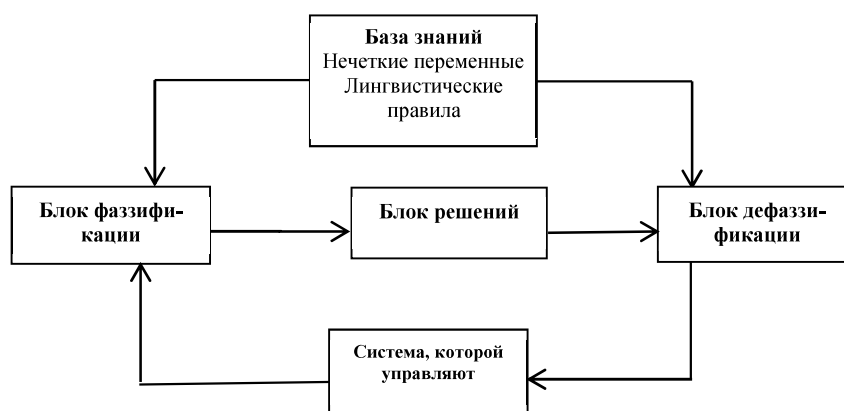
мов. Иными словами: отказываясь от количественных переменных и опираясь на словесные описания, подобные тем, которыми руководствуется человек, мы можем анализировать сложные системы, что недоступно для традиционного математического анализа. Другой подход к анализу зависимости урожайности от метеофакторов – с использованием аппарата нечеткой логики. Нечеткая логика по своей природе близка к анализу проблемы человеком, который способен оценивать информацию, выбирая из большого количества данных только те, которые имеют отношение к поставленной задаче. Такой подход отличается от традиционного подхода, тем, что в нем исполь-

зуются вместо числовых или вместе с ними так называемые лингвистические переменные.

Простые отношения между переменными описываются с помощью нечетких правил, сложные с помощью нечетких алгоритмов. Иными словами: отказываясь от количественных переменных и опираясь на словесные описания, подобные тем, которыми руководствуется человек, мы можем анализировать сложные системы, что недоступно для традиционного математическо-

го анализа.

Нечеткими высказываниями называют высказывания вида " β IS α ", где β – лингвистическая переменная, α – один из термов этой переменной. Например: «Урожайность IS высокая». Нечетким правилом называют классическое правило вида «IF ... THEN ...», где в качестве условий и выводов будут использоваться нечеткие высказывания. Записываются такие высказывания следующим образом IF (β_1 IS α_1) AND (β_2 IS α_2) THEN (β_3 IS α_3).



Источник: Разработано автором.

Рисунок 1. Общая структура нечеткого микроконтроллера

Кроме «AND» используется также нечеткая связка «OR». Но таких записей стараются избегать, разделяя на несколько простых, без «OR». Каждое из нечетких высказываний в условии любого правила называют подусловием, а каждое из высказываний в выводах – подвыводом. Наиболее важным применением теории нечетких множеств являются контроллеры нечеткой логики. Их функционирование несколько отличается от работы обычных контроллеров: для описания системы вместо математических уравнений используются знания экспертов. Эти знания могут быть выражены с помощью лингвистических переменных, которые описаны нечеткими множествами. Общая структура микроконтроллера, использующего нечеткую логику, пока-

зана на рис. 1.

Она содержит в своем составе следующие составляющие:

- блок фаззификации;
- базу знаний;
- блок решений;
- блок дефаззификации.

Блок фаззификации превращает четкие величины, измеренные на выходе объекта управления, в нечеткие величины, которые описаны лингвистическими переменными в базе знаний.

Блок решений использует нечеткие условные (IF...THEN...) правила, заложенные в базе знаний, для преобразования нечетких входных данных в необходимые управляющие воздействия, носящие также нечеткий характер.

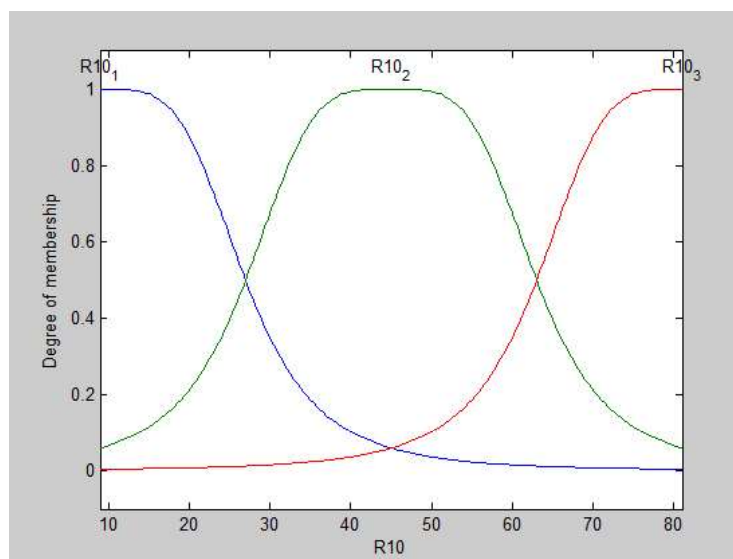
Блок дефаззификации превращает нечеткие данные выхода блока решений в четкую величину, которая используется для управления объектом. На первой стадии построения нечеткой модели (фаззификации) происходит определение лингвистических переменных. Лингвистическая переменная определяется как переменная, значениями которой является предложение на естественном или формальном. Каждая лингвистическая переменная описывается следующим набором характеристик:

$$\langle \beta, P, X, G, M \rangle, \quad (2),$$

где β – название лингвистической переменной, P – множество значений лингвистической переменной (термножество), X –

универсальное множество, G – синтаксическое правило, на основе которого генерируется термножество значений P , M – семантическая процедура, согласно которой каждому новому терму, сгенерированному на основе правила G , ставится в соответствие нечеткое множество, заданное на универсальном множестве X .

В нашем исследовании для построения прогнозной модели урожайности Одесской области использованы следующие лингвистические переменные: «сумма осадков в октябре» (R10), «средняя температура апреля» (R4) и «средняя температура мая» (TS).



Источник: Разработано авторами.

Рисунок 2. Модель колоколообразной функции принадлежности фактора «осадки в октябре» для Одесской области.

Термножество будет состоять из трех термов: «низкий», «средний» и «высокий». Степень соответствия между значениями влияющих факторов и термами лингвистических переменных описывается с помощью функции принадлежности.

Функция принадлежности – это некоторая не вероятностная субъективная мера нечеткости, определяемая в результате опроса экспертов о степени соответствия

фактора понятию, формализуемому нечетким множеством.

В теории нечетких множеств используется много типов функции принадлежности, среди них: треугольная, трапециевидная, гауссова, колоколообразная, сигмоидальная и др. Выбор функции принадлежности зависит от свойств объектов, для которых создается модель. Как утверждают многие исследователи, для описания экономических процессов лучше всего подхо-

дит колоколообразная функция принадлежности, поскольку большинство из этих процессов имеют нелинейный характер. Функция такого вида является непрерывной и выпуклой на всей области определения. Аналитическая форма записи колообразной, среди них: треугольная, трапециевидная, гауссова, колоколообразная, сигмоидальная и др. Выбор функции принадлежности зависит от свойств объектов, для которых создается модель. Как утверждают многие исследователи, для описания экономических процессов лучше всего подходит колоколообразная функция принадлежности, поскольку большинство из этих процессов имеют нелинейный характер. Функция такого вида является непрерывной и выпуклой на всей области определения. Аналитическая форма записи колоколообразной функции принадлежности следующая:

$$\mu(u) = \frac{1}{1 + \left(\frac{u-b}{c}\right)^2} \quad (3)$$

где c – коэффициент сжатия-растяжения; b – координата максимума функции $\mu(b) = 1$.

Преимущество колоколообразной функции принадлежности в простоте определения и удобстве настройки параметров. Эта функция имеет простую производную. Кроме того, она не принимает нулевое значение на границах терм-множества, а лишь асимптотически стремится к нему. Что является очень важным при анализе и прогнозировании нестационарных процессов, параметры которых часто выходят за пределы учебного множества значений.

Что касается треугольной и трапециевидной функций принадлежности, то к недостаткам их применения можно отнести следующие моменты:

- учебное множество этих функций ограничено,
- они не являются дифференцируемыми;
- невозможно оптимизировать такие модели с использованием градиентных методов.

В нашем случае входы R10 (сумма осадков в октябре), T4 (средняя температура апреля), T5 (средняя температура мая) и выход Y (урожайность) являются четкими величинами. Каждый из входных параметров R10, T4, T5 имеет четкий соответствие в виде лингвистической переменной r_{10}, t_4, t_5 . Каждая лингвистическая переменная состоит из трех термов («низкий», «средний», «высокий»), любой из которых является нечетким множеством. Фаззификация входных значений факторов исследуемой системы осуществляется с использованием колоколообразной функции принадлежности на основе модели Суджено. Модель колоколообразной функции принадлежности для фактора R10(сумма осадков в октябре) представлена на Рис. 2.

Блок решений проверяет значение каждой лингвистической переменной на основе правил нечеткой логики и превращает входной набор в исходную лингвистическую переменную u . Максимальное количество правил для нашей системы может составлять 27. Каждое из правил является нечеткой импликацией, которая определяет исходное значение в зависимости от уровня истинности левой части правила. Завершающим шагом нечеткого логического вывода является агрегирование выходов правил.

При нечетком выводе параллельно разрабатывают большое количество правил с последующим их агрегированием в завершающее решение.

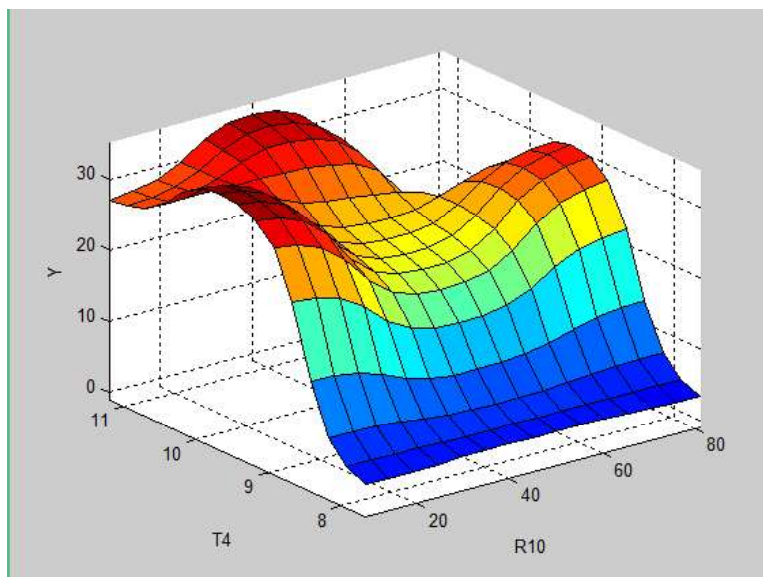
Правила могут строиться на основе опыта и знаний экспертов, созданием модели действий оператора или методом обучения.

В нашем случае происходит обучение базы правил по известным статистическим данным. Обучение состоит в адаптивном подборе параметров нечетких множеств и автоматическом генерировании правил нечеткого логического вывода.

На выходе системы будет лингвистическая переменная «урожайность», которая может принимать одно из трех значений: «низкий», «средний», «высокий». После построения системы правил осуществляет-

ся дефаззификация агрегированного выхода. Вообще, этап дефаззификации не является обязательным. Но когда речь идет о прогнозировании, этот этап просто необхо-

дим для определения точного значения прогнозируемых величин.



Источник: Разработано авторами.

Рисунок 3. Поверхность отклика для системы нечеткого вывода прогнозирования урожайности зерновых в Одесской области.

Результатом работы созданной нами модели нечеткой логики стало прогнозное значение урожайности зерновых в Одесской области в 2016 году $Y = 27,96$ ц/га. Для получения прогноза мы использовали такие предварительные оценки влияющих факторов: количество осадков в октябре $-39,0$ (мм); средняя температура апреля $-10,63^{\circ}\text{C}$; средняя температура мая $-17,67^{\circ}\text{C}$.

Прогнозное значение урожайности зерновых на 2016 год для Херсонской области, полученное на основе модели нечеткой логики $-Y = 22,96$ ц/га. Предварительные оценки влияющих факторов: количество осадков в апреле $-21,46$ (мм); количество осадков в июне $-54,77$ (мм); средняя температура в мае $-17,6^{\circ}\text{C}$.

Эти прогнозы близки к прогнозам, полученным на основе других методов, что подтверждает их достоверность. В частности, прогноз на 2016 год, полученный с использованием регрессионной модели составляет $26,22$ ц/га (Одесская область) и

$24,57$ ц/га (Херсонская область).

Выводы. Нами осуществлено исследование зависимости урожайности зерновых культур от погодно-климатических условий. На основе статистических данных 2003-2015 гг. построена трехфакторная регрессионная модель урожайности зерновых для Хмельницкой и Одесской областей. Выполнена верификация модели. С использованием модели(1) получены прогнозные значения урожайности зерновых на 2015 и 2016 года.

Для анализа воздействия на урожайность зерновых природно-климатических факторов мы использовали системы с нечеткой логикой. Была сформирована база экспертных правил и проведена фаззификация входных параметров с использованием колоколообразной функции принадлежности. Прогнозное значение урожайности зерновых на 2016 год получено с использованием центроидного метода дефаззификации. Полученные значения прогнозов обоих методов близки между собой, что свиде-

тєльствуєт о хорощєм качєствє прогностної лїзованиєм систєм нечєткої логикї.
модєли урожайностї построєнной с испо-

Библіографія:

1. Барабаш М. Б. Дослідження змін та коливань опадів на рубежі XX і XXI ст. в умовах потепління глобального клімату/ М. Б. Барабаш, Т. В. Корж, О. Г. Татарчук // Наук. праці УкрНДГМІ. — 2004. — Вип. 253. — С.92—102.
2. Витлинский В. В. Полигармоническое прогнозирование как метод минимизации инвестиционных рисков в зернопроизводстве. /Витлинский В. В., Грицюк П. М. //Труды Международной Научной Школы МА БР. СПб, ГУАП, 2008, с. 231—236.
3. Грицюк П. М. Аналіз, моделювання та прогнозування динаміки врожайності озимої пшениці в розрізі областей України: [монографія] / П. М.Грицюк. — Рівне : НУВГП, 2010. — 350 с.
4. Грицюк П. М. Моделювання впливу метеофакторів на урожайність зернових в розрізі областей України/ Грицюк П. М., Бачишина Л. Д. // Вісник Хмельницького національного університету/Економічні науки вип. 3. 2015., том 1, ст. 184—188.
5. Дмитренко В. Л. Адаптації меліоративного землеробства до погоди і клімату/ В. Л. Дмитренко // Вісник аграрної науки. — 2003. — № 2. — С. 52—56.
6. Калініченко В. М. Агроекологічне обґрунтування та моделювання впливу кліматичних факторів на урожайність та якість зерна сої в умовах центрального Лісостепу України : автореф. дис. на здобуття наук. Ступеня канд. с.-г. наук : спец. 03.00.16 «Екологія» / В. М. Калініченко. — Житомир, 2005. — 20 с.
7. Kosko B. Fuzzy Systems as Universal Approximators // IEEE Trans. on Computers. 1994. Vol. 43. №11. P.1329 1333.
8. Mamdani E. H.. Application of fuzzy algorithms for the control of a simple dynamic plant. Proc. IEEE 121, 1974. — p.1585 — 1588.
9. Наконечний С. І. Погодний ризик АПК: адаптивне моделювання, економічне зростання та прогнозування / С. І. Наконечний, С. С. Савіна. — К.: ДЕМІУР, 1998. — 186с.
10. Олійник О. В. Циклічність у динаміці урожайності сільськогосподарських культур. “Економіка АПК”, №3, 2003, с.52—57.
11. Попитченко Л. М. Погодно-кліматичні умови вегетації озимої пшениці в Луганській області/ Л. М. Попитченко // Збірник наукових праць Луганського Національного аграрного університету : [серія «Сільськогосподарські науки»].Луганськ : «Елтон-2», 2009. — № 100. — С. 121—124.
12. Тараріко Ю. О. Вплив агротехнічних і агрометеорологічних факторів на продуктивність агроєкосистем / Ю. О. Тараріко, А. В. Чернокозинський, Р. В. Сайдак [та ін.] // Вісник аграрної науки . — 2008. — № 5. — с. 64—67.
13. Zadeh L. Fuzzy sets // Information and control. — 1965, №8. — p. 338 — 353.
14. Штовба С. Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB / С. Штовба. — М: Горячая линия—Телеком, 2007. — 288 с.
- 15.<http://tsn.ua/ukrayina/chez-zmini-klimatu-piv-ukrayini-mozhe-peretvoritis-na-pustelyu.html>, доступ 08.09.2012.
- 16.<http://agravery.com/uk/posts/show/ukrainskij-eksport-do-es-u-lutomu-vperse-zris-z-2014-roku>, доступ 15.04.2016.