

ЕРМАКОВ РОМАН НИКОЛАЕВИЧ

ОПТИМИЗАЦИЯ НОРМ ВЫСЕВА СЕМЯН ЯРОВЫХ ЗЕРНОВЫХ
КУЛЬТУР С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛГОРИТМОВ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

Специальность: 06.01.03.– агрофизика

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Санкт-Петербург – 2015

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном научном учреждении
«Агрофизический научно-исследовательский институт».

Научный руководитель:

доктор технических наук, старший научный сотрудник
Михайленко Илья Михайлович

Официальные оппоненты:

Баденко Владимир Львович

доктор технических наук, профессор кафедры
"Водохозяйственное и гидротехническое строительство",
ФГАОУ ВО "Санкт-Петербургский политехнический
университет Петра Великого".

Гордеев Юрий Анатольевич

доктор биологических наук, профессор кафедры туризма
и спортивного ориентирования ФГБОУ ВПО
"Смоленская государственная академия физической
культуры, спорта и туризма".

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное научное
учреждение «Федеральный исследовательский центр
Всероссийский институт генетических ресурсов растений
имени Н.И. Вавилова»

Защита диссертации состоится «25» ноября 2015 года в 15 часов 00 минут на заседании
диссертационного совета Д 006.001.01 при федеральном государственном бюджетном
научном учреждении «Агрофизический научно-исследовательский институт» по
адресу: 195220, Санкт-Петербург, Гражданский проспект, д.14. Тел. +7 (812) 534-13-24,
факс +7 (812) 534-19-00,
e-mail: office@agrophys.ru.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Агрофизического научно-
исследовательского института и на сайте <http://www.agrophys.ru>, с авторефератом - на
сайте <http://vak.ed.gov.ru> и <http://www.agrophys.ru>.

Автореферат разослан «__» _____ 2015 г.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенных печатью, просим направлять по
адресу: 195220, Санкт-Петербург, Гражданский пр., д. 14, ФГБНУ АФИ.

Учёный секретарь
диссертационного совета Д 006.001.01
доктор биологических наук

Е.В. Канаш

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы.

Определение нормы высева семян сельскохозяйственных культур на единицу площади поля является одной из актуальных проблем точного земледелия (ТЗ), положительно не решенной до настоящего времени. В составе комплекса машин систем ТЗ появились сеялки точного высева, однако, до настоящего времени не создано методов определения заданий их высевающим аппаратам для различных культур и условий их возделывания. Основными факторами, определяющим норму высева семян, являются:

- 1) ожидаемая урожайность культуры,
- 2) реальное плодородие почв, на которых возделывается культура,
- 3) качество семенного материала.

Урожайность культуры зависит от многих случайных и трудно формализуемых факторов, что во многом затрудняет его прогноз. Но в ТЗ все равно необходимо ориентироваться на этот показатель, являющийся критерием правильности выбора норм высева.

Плодородие почв в современной агрономии является одной из самой трудно формализуемых категорий. Но, несмотря на эти сложности, оно по сути дела является основной базой для выбора оптимальной нормы высева любой культуры.

Качество семенного материала на первый взгляд является наиболее изученным фактором, определяющим выбор оптимальной нормы высева. Здесь основная проблема заключается в несоответствии декларируемых и фактических показателях качества, что порождает дополнительный источник неопределенности в общую задачу выбора оптимальности нормы высева семян.

С учетом того, что все вышеуказанные факторы выбора оптимальной нормы высева являются трудно формализуемыми и неопределенными, то для решения этой проблемы целесообразно применение методов нечеткой логики и математики. Использование этих методов позволяет оценить риски потерь урожайности для заданных градаций норм высева.

В отличие от двух других факторов выбора оптимальной нормы высева, семенной материал сам по себе является товарным продуктом, поэтому оценивание его качественных показателей является самостоятельной актуальной проблемой, еще не решенной до нужного уровня надежности.

Условия проведения сева сельскохозяйственных культур оказывают существенное влияние на величину и качество получаемого урожая (как на весь технологический процесс, так и на отдельные агроприёмы). Немаловажная роль в этом технологическом процессе отводится оценке рисков проведения сева на основе качественных и сортовых показателей семенного материала и оценке агроклиматических условий.

В настоящее время доля некондиционных семян в РФ в разные годы варьирует от 20 до 30 процентов, а в отдельных регионах достигает до 35-60

процентов. Такое низкое качество семенного материала приводит к существенному снижению полевой всхожести, а это требует значительного увеличения нормы высева и, соответственно, дополнительных затрат семенного материала. Между тем, применяемые в сельском хозяйстве методы и приемы определения нормы высева характеризуются невысокой точностью и не позволяют оценивать прогнозное прорастание семени в реальных полевых условиях.

Обычно используемые в агроинженерной практике показатели, основаны на многолетних наблюдениях и носят среднестатистический характер. Однако статистический подход, как известно, не всегда позволяет достоверно оценить объект исследований, если ряды наблюдений короткие, а условия в которых функционирует объект существенно изменяются.

Известные подходы к оценке рисков проведения сева на основе качественных и сортовых показателей семян используют, как правило, детерминированные или вероятностные модели с заданными законами распределения случайных величин. В то же время для большинства процессов на сельскохозяйственном поле характерна большая информационная неопределенность, характеризующаяся отсутствием априорными сведениями о законах и параметрах распределения случайных величин и явлений. Это указывает на то, что для получения сравнительной оценки качественных и сортовых показателей семян в сельскохозяйственном производстве может использоваться многоатрибутивный анализ, а для оценивания рисков проведения различных агроприемов могут использоваться методы нечеткой классификации.

Принятие решения в сложных производственно-хозяйственных системах связано с анализом и переработкой большого объема разнородной, неполной и противоречивой информации. В этой связи разработка нечетких моделей и компьютерных программ для решения такого рода задач представляется своевременной и актуальной.

В связи с этим, проведенные исследования и представленные в данной работе были направлены на разработку и совершенствование методологического, алгоритмического и программного обеспечения по реализации информационных технологий, относящихся непосредственно к процессу принятия решений в сельскохозяйственной области.

Работа выполнена в соответствии с программой исследований ГНУ АФИ Россельхозакадемии на 2006-2010гг. по проблеме 02 "Разработать методологию, принципы формирования современных агротехнологий и проектирования систем земледелия на ландшафтной основе, обеспечивающие эффективное использование земли, рост производства сельскохозяйственной продукции и сохранение экологической устойчивости агроландшафтов для товаропроизводителей различной специализации" (тема 02.05.02 "Разработать комплекс информационно-технологических приемов точного земледелия с целью повышения уровня адаптации агротехнологий к ландшафтным условиям.").

Цель и задачи исследования.

Цель диссертационной работы заключалась в повышении эффективности методов и алгоритмов выбора норм высева яровых зерновых культур, обеспечивающих снижение рисков потерь урожая с учетом агроклиматических условий, степени кондиционности семенного материала и выбранной культуры возделывания с применением алгоритмов нечеткой логики.

Для достижения указанной цели были решены следующие задачи исследований:

- проведен анализ мировой и отечественной литературы по методам оценки рисков при выборе норм высева и разнокачественности семенного материала, обуславливающего различие в полевой всхожести производственных партий семян;
- проведен анализ методов принятия решений по выбору оптимальных норм высева с помощью методологии нечеткой логики и нечетких множеств;
- разработаны модели, алгоритмы и программы оценивания рисков снижения полевой всхожести при севе зерновых культур с учетом разнокачественности семенного материала;
- проведена апробация и экспериментальные исследования разработанных моделей, алгоритмов и программ.

Объектом исследования в диссертационной работе являлась базовая технологическая операция ТЗ - сев зерновых культур, включая процедуры определения норм высева и качества семенного материала.

Предметом исследования являются методы оценивания риска потерь урожая при выборе норм высева семян с учетом качественных показателей семян яровых зерновых и зернобобовых культур.

Научную новизну работы составляют:

1. Модели и алгоритмы оценивания рисков потерь урожая в зависимости от выбора норм высева семян зерновых и зернобобовых культур.
2. Модели и алгоритмы оценивания рисков снижения полевой всхожести при посеве зерновых культур с учетом разнокачественности семенного материала.
3. Алгоритм поиска оптимальных норм высева семян яровых зерновых культур с учетом степени кондиционности семенного материала, агроклиматических условий при посеве и выбранной культуры возделывания, построенный с применением алгоритмов нечеткой логики и нечетких множеств.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Результаты анализа вариабельности прогнозируемой урожайности яровых зерновых культур, обусловленной разнокачественностью семенного материала, агроклиматическими условиями и выбранной культурой возделывания.

2. Методика оценивания рисков потерь урожая зерновых культур в процессе выбора норм высева при севе зерновых культур с учетом разнокачественности семенного материала, агроклиматических условий и выбранной культуры возделывания для принятия обоснованных решений в сельскохозяйственном производстве.
3. Модели, алгоритмы и программы по оптимизации норм высева с учетом разнокачественности семенного материала, агроклиматических условий и выбранной культуры возделывания.
4. Компьютерные программы для проведения численных экспериментов, позволяющие получать оценки качественного состояния семян яровых зерновых культур, агроклиматических условий при проведении сева и рисков потерь урожая с помощью различных математических методов для повышения надежности принимаемых решений.
5. Результаты апробации разработанных методик, алгоритмов и программ на статистических данных Меньковской опытной станции Агрофизического НИИ за 2006-2013 годы при определении оптимальных норм высева семян яровых зерновых культур.

Практическая значимость исследований, проведенных в данной работе, определяется тем, что разработана простая для использования методика оценивания рисков потерь урожая зерновых культур при выборе норм высева при севе зерновых культур с учетом разнокачественности семенного материала, агроклиматических условий и культуры возделывания с использованием моделей нечеткой логики.

Достоверность результатов исследований доказана результатами апробации разработанных методик, алгоритмов и программ на конкретных статистических данных Меньковского филиала Агрофизического НИИ за 2006-2013 годы при определении оптимальных норм высева семян яровых зерновых культур.

Основные результаты исследования с применением созданных компьютерных программ по реализации алгоритмов оценивания рисков потерь урожая в зависимости от выбора норм высева семян зерновых и зернобобовых культур и снижения полевой всхожести при посеве зерновых культур с учетом разнокачественности семенного материала могут быть реализованы:

в растениеводческих хозяйствах при возделывании яровых зерновых культур для обоснования норм высева семян;

в научно-исследовательских учреждениях при разработке комплексов информационно-технологических приемов точного земледелия и их реализации на экспериментальных полигонах и опытных полях;

в системе Россельхозцентра для проведения ранжирования посевного материала в различных регионах и округах РФ с учетом потенциальной полевой всхожести.

Апробация результатов исследования. Основные результаты диссертационной работы доложены:

- на координационном совещании и научной сессии Агрофизического института, СПб, 2009 г.

- на 10 международной конференции по точному земледелию, Денвер, США, 2010 г.

- на семинаре лаборатории «Моделирование адаптивных агротехнологий»

ГНУ АФИ Россельхозакадемии, СПб, 2011 г.

- на научной конференции профессорско–преподавательского состава Санкт-Петербургского государственного аграрного университета, СПб, 2012 г.

Публикации. По материалам исследований опубликовано 12 печатных работ, в том числе 5 в изданиях, рекомендованных ВАК и Свидетельство №2009615288 о государственной регистрации программы.

Структура и объём диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, общих выводов и рекомендаций, списка использованных источников из 139 наименований. Работа изложена на 165 страницах машинописного текста, содержит 39 таблиц, 38 иллюстраций и 9 приложений.

Личный вклад соискателя. Разработка методической программы исследований в рамках целей диссертационной работы. Проведение опросов экспертов согласно разработанным автором матрицам опроса выполнено в полном объеме автором настоящей работы. Степень участия автора в планировании экспериментов и обсуждении полученных результатов, в разработке математических моделей оценивания агрономических условий при посеве на основе биофизических показателей семян яровых зерновых культур (ЯЗК), оценивания агроклиматических условий при проведении сева ЯЗК, прогнозирования урожайности ЯЗК, оценивания рисков потерь урожая, в разработке алгоритмов вычисления комплексных оценок условий для проведения сева и поиска оптимальной нормы высева семян ЯЗК, составляла от 80 до 100 процентов. Проектирование архитектуры и программная реализация компьютерных программ "Многокритериальная оценка агротехнологий", "Ассистент агронома" и "Поиск оптимальных норм высева семян ЯЗК" выполнены в полном объеме лично автором настоящей работы. **Доля участия автора в совместных публикациях пропорциональна долям остальных авторов.**

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель работы, объект исследования, предмет исследования, научную новизну, практическая значимость и результаты, выносимые на защиту.

В первой главе «Актуальность проблемы» рассмотрены источники рисков потерь урожая яровых зерновых культур в сельскохозяйственном производстве при выборе норм высева семян, обусловленные качеством (кондиционностью) семенного материала.

На основании проведенного в данной главе аналитического обзора мировой и отечественной литературы можно сделать вывод о том, что оценивание рисков, связанных с технологическими операциями в процессе сева требует использования специальных математических приемов, основанных на экспертных оценках показателей качества семян, влияющих на их полевую всхожесть с применением алгоритмов нечеткой логики. Метод, позволяющий найти оптимальную норму высева семян яровых зерновых культур с применением алгоритмов нечеткой логики, очень перспективен, поскольку позволяет учитывать слабоструктурированный характер экспертной информации.

Во второй главе «Анализ возможных методов принятия решений по выбору оптимальных норм высева на основе теории нечеткой логики и нечетких множеств» проведён анализ возможных методов принятия решений в агротехнике с помощью приложений теории нечеткой логики и нечетких множеств. При этом из числа потенциально возможных были выбраны методы многоатрибутивной сравнительной оценки по схеме Ли – Ванга и построения логико-лингвистических моделей.

Многоатрибутивное моделирование представляет одну из ветвей многокритериального моделирования. Оно отличается от многокритериального моделирования тем, что в качестве критериев используются атрибуты. Имеется большое количество научных публикаций по применению многоатрибутивного моделирования для решения сельскохозяйственных задач. Так в работе (Jones и Barnes, 2000) представлена теория многоатрибутивного принятия решений на основе нечеткого композиционного программирования. Этот подход позволяет пользователям выразить отдельные или корпоративные ценности и предпочтения; степень неточности, связанную с каждым источником информации и находить компромисс между различными альтернативами. В работе (Bohanec, 2006) дана оценка на уровне фермерских хозяйств систем земледелия по возделыванию генетически модифицированной и не генетически модифицированной кукурузы, в другой работе (Bohanec и др., 2007) описывается многоатрибутивная модель для оценки влияния системы земледелия на качество почвы. Многоатрибутивная модель для оценки устойчивости систем земледелия представлена в работе (Sadok и др., 2009). Оценивание качества почвы в географических информационных системах (ГИС) с использованием многоатрибутивной модели показано в работе (Куртенер и Баденко, 2001).

Из обзора нечетких многоатрибутивных методов принятия решений следует, что для достижения поставленной задачи наиболее подходит метод средневзвешенных минимальных отклонений по схеме Ли – Ванга.

В основу алгоритма многоатрибутивного анализа положены работы Ли и Ванга в следующей формулировке задачи: имеется набор альтернатив $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, альтернатива характеризуется набором показателей

(атрибутов), по совокупности которых должна быть выбрана оптимальная альтернатива.

Матрица принятия решений $\bar{X} = (x_{ij})_{m \times n}$, где x_{ij} является значением i -того атрибута для j -той альтернативы, преобразуется в нормализованную матрицу принятия решений:

$$Z = (z_{ij})_{n \times m} \quad (1)$$

где z_{ij} является нормализованным значением i -того атрибута для j -той альтернативы.

Нормализация проводится по формулам

$$z_{ij} = \frac{x_{ij} - x_j^{\min}}{x_j^{\max} - x_j^{\min}}, \quad i = 1, \dots, n, \quad j \in \Omega_1, \quad (2)$$

$$z_{ij} = \frac{x_j^{\max} - x_{ij}}{x_j^{\max} - x_j^{\min}}, \quad i = 1, \dots, n, \quad j \in \Omega_2, \quad (3)$$

где $x_j^{\min} = \min_{1 \leq i \leq n} \{x_{ij}\}$, $x_j^{\max} = \max_{1 \leq i \leq n} \{x_{ij}\}$, и z_{ij} нормализованное значение атрибута x_{ij} .

Вангом предложена следующая многоцелевая модель для определения весовых коэффициентов атрибутов

$$\min F(W^0) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_i(W^0) \quad (4)$$

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^p g(\omega_j) = \alpha \\ \omega_j \geq 0, \quad j = 1, \dots, p. \end{cases} \quad (5)$$

$$(6)$$

ω_j – весовые коэффициенты нескольких атрибутов $W = (\omega_1, \dots, \omega_m) > 0$.

Наилучшей альтернативой может стать тот вариант принятия решений, чьи нормализованные атрибуты имеют максимальные значения в выражении (1).

Расчет относительных весов критериев производится по формуле:

$$\tilde{\omega}_j^* = d \cdot \frac{(1/\sum_{i=1}^n (z_j^* - z_{ij}))^2}{\sum_{j=1}^p (1/\sum_{i=1}^n (z_j^* - z_{ij}))^2}, \quad j = 1, \dots, p, \quad (7)$$

где ω_i^* – “оптимальный вес”; z_j^* – нормализованное значение атрибута для идеальной альтернативы; z_{ij} – нормализованное значение атрибута для i -той альтернативы (элемент нормализованной матрицы решений);

$$d = 1 - \sum_{j=p+1}^m \omega_j^*, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (8)$$

Представляется также перспективным метод двумерной проекции многомерных кластеров и алгоритм построения логико-лингвистической модели на экспертных знаниях.

Концептуальные основы построения логико-лингвистической модели на экспертных знаниях подразумевают использование опыта и интуиции высококвалифицированных специалистов в данной отрасли знаний. При этом на основе приведенных в литературе сведений алгоритм построения логико-лингвистических моделей представляется в виде рис.1.

В результате применения алгоритма получают нелинейные модели в виде полинома, позволяющие в выбранном экспертом факторном пространстве нечетких лингвистических переменных получать детерминированную количественную оценку изучаемого явления.

Выбранные на основе литературного обзора методы легли в основу разработанных алгоритмов применительно к решению задач в рамках целей диссертационной работы.



Рис.1 Алгоритм построения обобщенного параметра в виде математической модели

В третьей главе «Многокомпонентный анализ рисков потерь урожая и оптимизация норм высева семян яровых зерновых культур» рассматриваются разработанные математические модели и алгоритмы оптимизации норм высева семян яровых зерновых культур, включающие оценивание степени кондиционности семенного материала и агроклиматических условий. Для апробации предложенных математических моделей и алгоритмов разработаны компьютерные программы. На рис.2 представлена блок-схема разработанного алгоритма поиска оптимальной нормы высева семян ЯЗК.

Исходя из опроса экспертов, на вход моделей, построенных с помощью выбранных алгоритмов, подается набор лингвистических переменных (табл. 1).

Уровень рисков при проведении сева является единственной выходной лингвистической переменной.

Т а б л и ц а 1. Характеристика лингвистических входных переменных

Входные переменные	Обозначение
Чистота семян (сортовая), %;	ЧС1
Чистота семян (сорняки), шт./кг;	ЧС2
Масса 1000 семян, г.	МТС
Показатель внешней и внутренней травмированности, %	ПВВТ
Микробиом семени, %	МС
Всхожесть семян, %	ВС

Так, для оценивания агрономических условий при посеве на основе биофизических показателей семян яровых зерновых культур была получена следующая математическая зависимость:

$$Y=0.43+0.0335x_1+0.0095x_2+0.0218x_3+0.0407x_4+0.019x_5+0.0239x_6+0.0123x_3x_4+0.0116x_5x_6 \quad (9)$$

где Y - комплексная оценка степени кондиционности семенного материала ЯЗК на основе биофизических показателей семян; x_1 - масса 1000 семян, г; x_2 - чистота семян (сортовая), %; x_3 - чистота семян (сорняки), шт/кг; x_4 - всхожесть семян, %; x_5 - показатель внешней и внутренней травмированности, %; x_6 - микробиом семени, %.

С целью понижения рисков снижения полевой всхожести семян ЯЗК при проведении сева на основе оценки качественных показателей семян яровых зерновых культур с использованием моделей нечеткой логики были разработаны два варианта программ, реализующих независимые алгоритмы принятия решений. При рассмотрении одной и той же задачи различными независимыми методами, во-первых, представляется возможным оценить изучаемое явление с различных сторон, и, во-вторых, при получении сходственных результатов повысить надежность принимаемого решения по конкретно рассматриваемому решению.

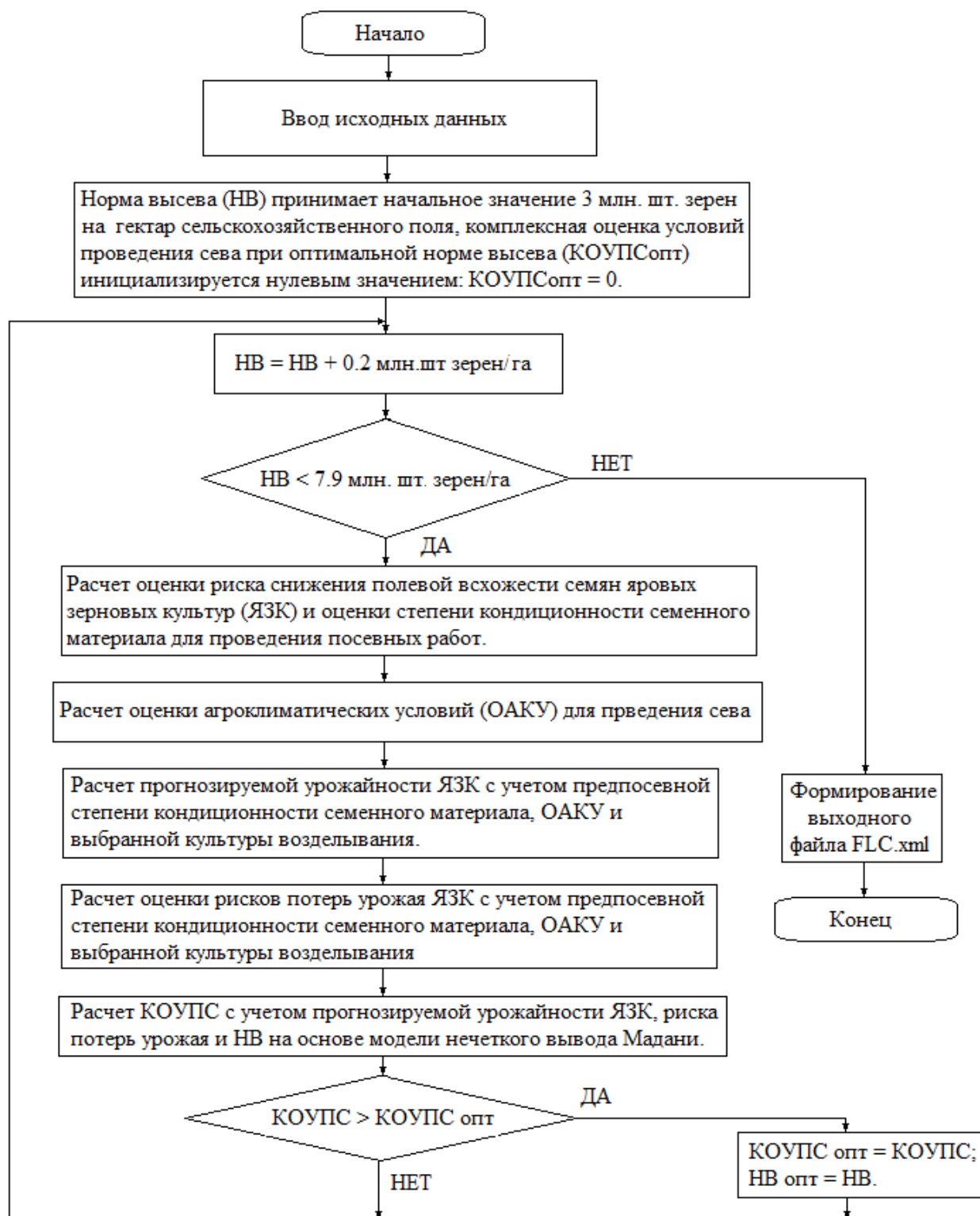


Рис.2 Блок-схема алгоритма поиска оптимальной нормы высева семян ЯЗК

В данной главе получены следующие результаты решения задач в рамках целей диссертационной работы:

- 1) разработан алгоритм оптимизации норм высева семян яровых зерновых культур;
- 2) разработана методика применения алгоритма многоатрибутивного анализа предпосевного состояния семян яровых зерновых культур на основе теории принятия решений в нечетких условиях, создан программный

продукт, защищенный свидетельством №2009615288 в Федеральной службе по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам 24 сентября 2009;

3) разработана методика применения методов *минимальных средневзвешенных отклонений* по схеме Ли – Ванга и *построения логико-лингвистических моделей* на экспертных знаниях для оценки рисков снижения полевой всхожести при посеве зерновых культур с учетом разнокачественности семенного материала.

В четвертой главе «Апробации моделей, алгоритмов и программ по оптимизации норм высева» представлены результаты апробации разработанных методов на конкретных примерах из практики сельского хозяйства, дается сравнительный анализ расчетов оценки рисков снижения полевой всхожести при проведении сева по двум предложенным в данной диссертационной работе основным алгоритмам (метод многоатрибутивной сравнительной оценки по схеме Ли – Ванга и алгоритм построения логико-лингвистических моделей). Рассматриваются примеры расчетов оптимальных норм высева на полях Меньковского филиала Агрофизического НИИ за 2006- 2013 годы и показаны фактические значения показателей проведенных полевых опытов. Описывается метод поиска оптимальных норм высева семян яровых зерновых культур с учетом прогнозируемой урожайности, оценки рисков потерь урожая и выбранной культуры возделывания яровых зерновых культур на основе экспертной информации.

Так, при решении задачи классификации условий для проведения сева яровых зерновых культур на основе качественных и сортовых показателей семян с целью выявления различного уровня рисков на данном этапе сельскохозяйственного процесса всеми предлагаемыми методами получены результаты, показанные в таблице 2.

Как показывает анализ, приведенный в таблице 2, результаты вычислений по двум алгоритмам с помощью разработанных программ, включенных в разработанную методику, показывают сходные результаты классификаций, на основании которых можно сделать вывод об их равноценности.

Таким образом, предложена новая методика анализа условий проведения сева, основанная на нечеткой логике при подходе к принятию решений. Эта методика основывается на нахождении комплексной оценки условий проведения сева яровых зерновых культур на основе качественных и сортовых показателей семян. На основе полученного комплексного показателя можно оценить степень риска при проведении сева яровых зерновых культур. Если риск высокий, то это означает, что жизненный потенциал семян невысок, они имеют низкие показатели силы роста и энергии прорастания. Поэтому для успешного выполнения данного агроприема таким семенам требуются комфортные внешние погоднопочвенные условия и, следовательно, очень серьезного обоснования требуют сроки проведения сева. В тоже время семена яровых зерновых культур с

низким уровнем риска имеют высокие показатели силы роста и энергии прорастания. Такие семена зачастую смогут выживать и давать ростки в менее комфортных условиях, чем среднестатистические.

Т а б л и ц а 2. Результаты анализа условий для проведения сева с использованием ПО

№ п/п	Входные переменные						Результаты расчета в лингвистической форме	
	МТС	ЧС1	ЧС2	ВС	ПВВТ	МС	Уровень риска согласно логико-лингвистической модели	Уровень риска согласно многоатрибутивному анализу
1	45	96	50	92	34	30	выше среднего	выше среднего
2	20	99	50	82	20	30	высокий	средний
3	20	96	50	87	20	30	высокий	высокий
4	45	96	50	82	34	18	выше сред.-высокий	высокий
5	20	96	5	82	34	18	высокий	высокий
6	20	96	50	87	34	18	высокий	высокий
7	20	96	50	82	20	18	выше сред.-высокий	высокий
8	20	96	5	82	20	18	выше среднего	высокий
9	45	96	50	92	20	18	средний	средний
10	35.8	96.4	46	83	37.2	19.4	высокий	высокий
11	33.8	97.4	28	86	30.1	27.4	выше среднего	средний-выше сред.
12	38.8	95.95	51	87	34.6	14.2	выше среднего	выше среднего
13	41.2	95.6	54	91	20.1	10.2	средний	выше среднего
14	39	96.8	31	90	22.2	11.7	ниже сред.-средний	средний
15	25	96.3	39	91	21	9.5	средний	средний
16	41	96.45	44	92	19.5	19	средний	средний
17	29	96.4	44	87	19	13.5	средний	выше среднего
18	45	99	15	93	5	14	низкий	низкий
19	45	99	4	89	10	14	низкий	низкий
20	45	99	30	93	5	14	низкий	низкий
21	55	99.7	3	80	2	13	низкий	ниже среднего
22	36.2	99.4	4	92	19.4	12.4	низкий - ниже среднего	низкий
23	55	95	70	80	40	33	высокий	высокий
24	11.5	96.8	32	82	31	29	высокий - очень выс. высокий	высокий

На основе алгоритма построения логико-лингвистических моделей с учетом опыта и знаний экспертов о предпосевных агроклиматических условиях, качественных и сортовых характеристиках семян, а также выбранных норм высева и культур возделывания, разработана модель в форме полинома, позволяющая прогнозировать урожайность зерновых

культур. Согласно расчетам на основе данных проведенных полевых опытов в Меньковской опытной станции Агрофизического НИИ за 2006-2013 годы (см. табл. 3) стандартное отклонение фактических урожайностей от прогнозируемых $\sigma = 4.76$ ц/га (средняя величина фактической урожайности составила 34 ц/га при выборке наблюдений $n=22$). Предложенная математическая модель создавалась на основе знаний и опыта экспертов, а не на базе статистических данных проведенных опытов, поэтому она является универсальной и ее можно успешно использовать и в других регионах РФ.

Алгоритм построения логико-лингвистических моделей с учетом опыта и знаний экспертов о предпосевных агроклиматических условиях, качественных и сортовых характеристиках семян яровых зерновых культур, а также выбранных норм высева и культур возделывания применен для оценивания риска потерь урожая яровых зерновых культур, что способствует более эффективному определению норм высева.

Создан алгоритм вычисления комплексной оценки условий проведения сева с использованием модели Мамдани, учитывающая урожайность зерновых культур, степень рисков снижения или потерь урожая и выбранной нормы высева. Показано как с помощью полученного решения, можно отыскать оптимальную норму высева. Комплексная оценка также очень полезна и при выборе лучшей агротехнологии. Результаты расчетов для проведенных испытаний свидетельствуют о предпочтительности использования высокоинтенсивного варианта агротехнологий с элементами точного земледелия, поскольку комплексные оценки условий проведения сева в этих случаях становятся наибольшими (см. табл. 3).

На основе статистических данных, полученных в результате, проведенных, полевых опытов, проверена адекватность представленных в данной работе математических моделей. Согласно таблице 3, в большинстве случаев, выбранные величины норм высева агрономом находятся близко к расчетным.

На основе данных условий проведения сева в экспериментах на полях Меньковской опытной станции Агрофизического НИИ за 2007-2013 годы и проведенных практических расчетов таких важных показателей, как ожидаемая урожайность зерновых культур, уровень риска потерь урожая и комплексная оценка условий проведения сева с помощью построенного алгоритма определения оптимальных норм высева семян ЯЗК, можно с уверенностью говорить о практической целесообразности созданного решения в плане повышения экономической эффективности в сельскохозяйственном производстве. Данные о потенциальных темпах роста средних урожайностей в проведенных полевых экспериментах сведены в таблицу 4 и проиллюстрированы на гистограмме (рис. 3). В случае использования предложенного в данной работе алгоритма определения оптимальных норм высева семян ЯЗК рост средних уровней урожайности мог бы достичь в среднем за 2007, 2009-2013 годы 8.2 %. Риски потерь урожая могли бы снизиться за этот период на 3.4 % (см. таблицу 5 и рис.4). А

**Т а б л и ц а 3. Данные вариантов полевых опытов в Меньковской опытной станции
Агрофизического НИИ за 2006-2013 годы**

№ п./п	Сорт пшеницы	Вариант агротехнолог.	Норма высева (млн шт/га)	Факт. урожайн. (ц/га)	Прогноз урожайн. (ц/га)	Прогноз урожайн. при опт. НВ (ц/га)	Ур. риска потерь урожая при опт. НВ	Опт. норма высева (млн шт/га)	Комп оцен- ка для УПС
1	Ленингр.-97 (суперэлита)	Высокоинтенс. + ТЗ	7.5	40.65	53.57	51.7	0.4171	6.8	0.7634
2	Ленингр.-97 (элита)	Высокоинтенс. + ТЗ	6	47	41.1	45.9	0.4534	7.8	0.631
3	Ленингр.-97 (элита)	Хозяйственный	6	30.7	31.2	36	0.5256	7.8	0.4557
4	Эстер(элита)	Хозяйственный	6.5	29.5	28.6	29.4	0.5896	6.8	0.3634
5	Красноуф- 100 (элита)	Хозяйственный	6	33.5	27.4	29.6	0.5897	6.8	0.3647
6	Ленингр.-97 (перв. репр.)	Хозяйственный	6.9	28.3	26.4	25.3	0.6314	6.4	0.317
7	Эстер (элита)	Высокоинтенс. + ТЗ	6.5	47.43	39	42.6	0.4822	7.8	0.5686
8	Эстер(элита)	Высокоинтенс.	6	32.4	35.2	40.2	0.5037	7.8	0.5088
9	Эстер (элита)	Высокоинтенс. + ТЗ	6	40.75	40.6	45.7	0.4629	7.8	0.6194
10	Красноуф- 100(1-я реп)	Хозяйственный	6.5	24.3	24.5	24.7	0.6258	6.6	0.3074
11	Красноуф- 100(1-я реп)	Высокоинтенс.	6.5	29.7	26.1	25.9	0.6	6.4	0.3364
12	Красноуф- 100(1-я реп)	Высокоинтенс. + ТЗ	6.5	32.55	27.7	30	0.5478	7.8	0.3954
13	Эстер (перв. репр.)	Хозяйственный	6.5	25.5	21.9	24.5	0.6675	7.8	0.2214
14	Эстер (перв. репр.)	Высокоинтенс.	6.5	30.5	23.8	24.4	0.6343	6.8	0.2844
15	Эстер (элита)	Хозяйственный	6.5	24.5	24.1	24.9	0.6369	6.8	0.2901
16	Эстер (элита)	Высокоинтенс.	6.5	29.5	29.1	32.6	0.5684	7.8	0.3693
17	Эстер (элита)	Высокоинтенс. + ТЗ	6.5	34	34.01	34.9	0.5391	6.8	0.4722
18	Дарья(элита)	Хозяйственный	6	32.5	32.4	34.7	0.5356	6.8	0.4736
19	Тризо (перв. репр.)	Хозяйственный	6	25.56	29.1	32.9	0.5595	7.6	0.3952
20	Тризо (перв. репр.)	Высокоинтенс.	6	41.2	34.2	38.5	0.4925	7.8	0.5416
21	Дарья (элита)	Высокоинтенс. + ТЗ	6	46.9	43.5	45.7	0.4664	6.8	0.6683
22		Высокоинтенс.	6	41	38	40.8	0.4964	7	0.5759

рост комплексного показателя условий проведения сева, который учитывает уровень урожайности, степень риска потерь урожая и расход зерна, мог бы составить 6.22% (см. таблицу 6 и рис.5).

Т а б л и ц а 4 Потенциальные темпы роста средних показателей урожайности в проведенных полевых опытах в Меньковской опытной станции Агрофизического НИИ за 2007-2013 годы в случае возможного применения созданной математической модели оптимизации норм высева семян ЯЗК

Годы	Средняя прогнозируемая урожайность (ц/га)		Изменение	
	при фактических нормах высева	при расчетных оптимальных нормах высева	в абсолютных величинах	темп роста, в %
2007	36.15	40.95	4.8	13.3
2009	30.35	31.725	1.375	4.5
2010	30.82	33.3	2.48	8
2011	22.85	24.45	1.6	7
2012	29.07	30.8	1.73	6
2013	35.44	38.52	3.08	8.7
За 2007 - 2013 годы	30.78	33.29	2.51	8.2

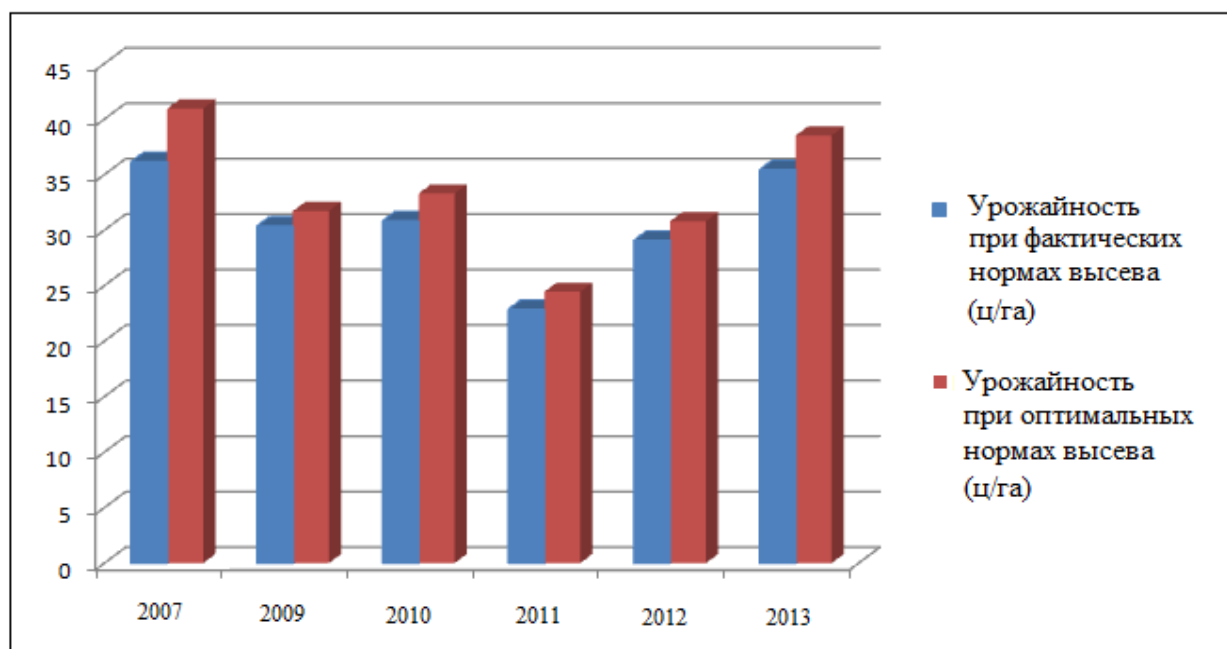


Рис. 3 Значения прогнозируемых показателей урожайности ЯЗК на основе данных полевых опытов в Меньковской опытной станции Агрофизического НИИ за 2007- 2013 годы при задании фактических и оптимальных норм высева.

Таблица 5. Потенциальные темпы снижения средних уровней рисков потерь урожая в проведенных полевых опытах в Меньковской опытной станции Агрофизического НИИ за 2007-2013 годы в случае возможного применения созданной математической модели оптимизации норм высева семян ЯЗК

Годы	Средний уровень риска потерь урожая		Изменение	
	при фактических нормах высева	при расчетных оптимальных нормах высева	в абсолютных величинах	темп роста, в %
2007	0.5284	0.4895	-0.0389	-7.36
2009	0.5843	0.5732	-0.0111	-1.9
2010	0.5689	0.548	-0.0209	-3.67
2011	0.66	0.65	-0.01	-1.52
2012	0.5939	0.5815	-0.0124	-2.09
2013	0.5349	0.51	-0.0249	-4.66
За 2007 - 2013 годы	0.5784	0.5587	-0.0197	-3.4

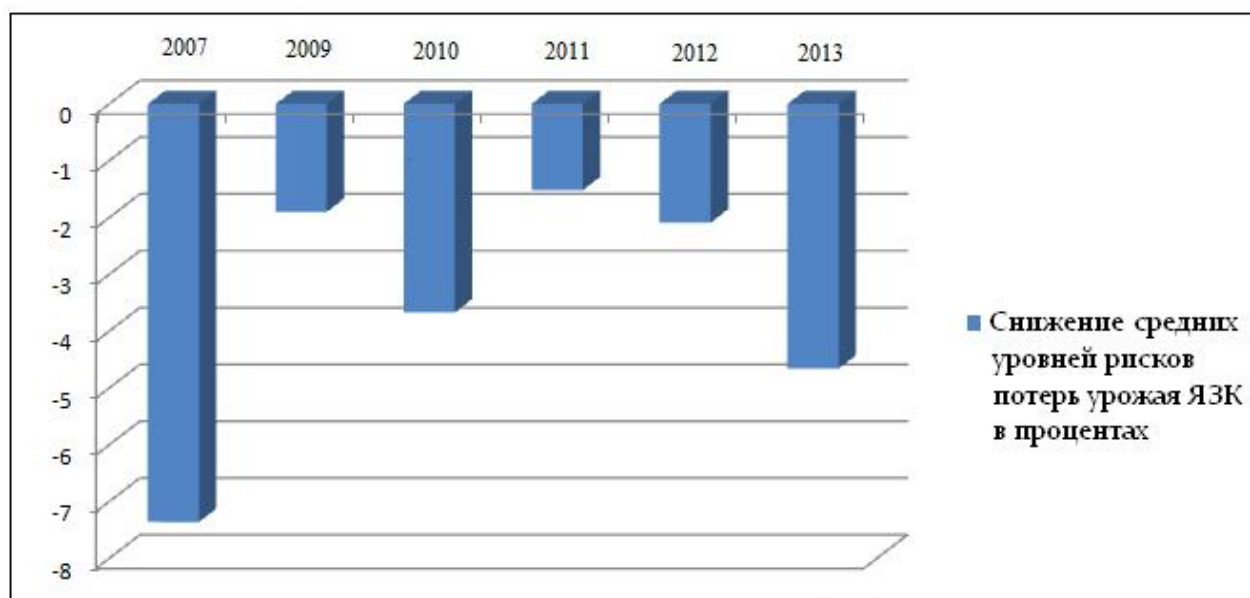


Рис. 4 Показатели снижения средних уровней рисков потерь урожая ЯЗК в процентах на основе данных полевых опытов в Меньковской опытной станции Агрофизического НИИ за 2007- 2013 годы при задании фактических и оптимальных норм высева.

Таблица 6 Потенциал роста экономической эффективности при проведении посевных работ в проведенных полевых опытах в Меньковской опытной станции Агрофизического НИИ за 2007-2013 годы в случае возможного применения созданной математической модели оптимизации норм высева семян ЯЗК

Годы	Средняя комплексная оценка условий проведения сева с учетом прогнозируемой урожайности, степени риска потерь урожая и расхода зерна		Изменение	
	при фактических нормах высева	при расчетных оптимальных нормах высева	в абсолютных величинах	темп роста, в %
2007	0.5144	0.5434	0.029	5.64
2009	0.3816	0.4034	0.0218	5.71
2010	0.4127	0.4335	0.0208	5.04
2011	0.2281	0.2529	0.0248	10.87
2012	0.3628	0.3772	0.0144	3.97
2013	0.4931	0.5309	0.0378	7.67
За 2007 - 2013 годы	0.3988	0.4236	0.0248	6.22

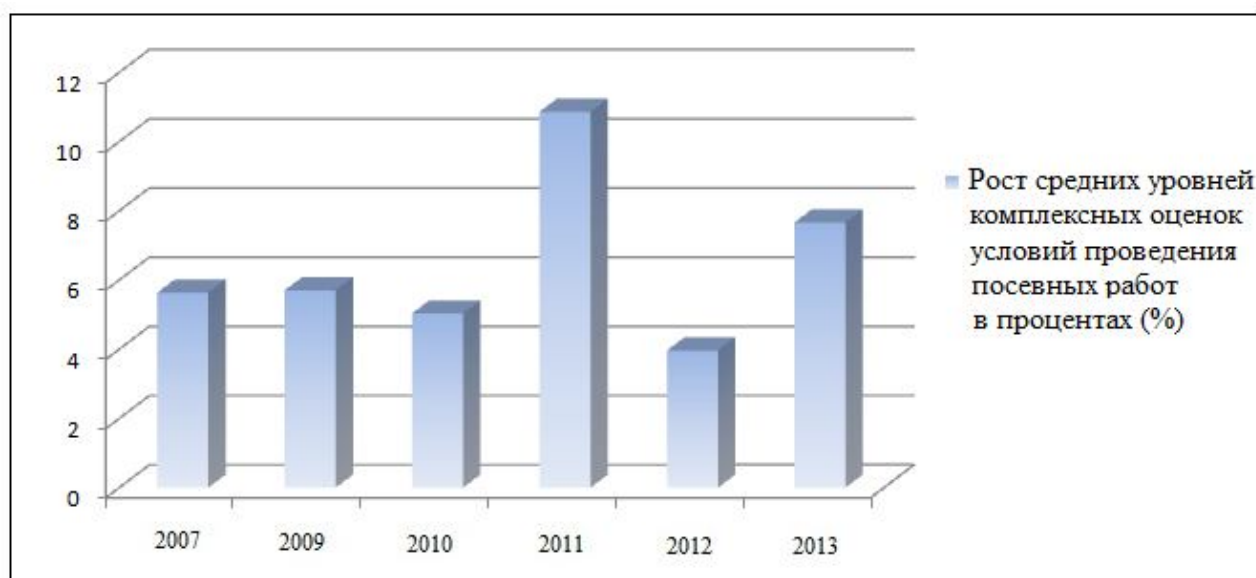


Рис. 5 Показатели возможного роста средних уровней комплексных оценок условий для проведения сева в процентах (%) на основе данных полевых опытов в Меньковской опытной станции Агрофизического НИИ за 2007- 2013 годы при задании оптимальных норм высева.

Заключение

В результате проведенных исследований доказана возможность оптимизации норм высева семян яровых зерновых культур на единицу площади поля на основе моделей нечеткой логики, что позволит создать автоматизированные системы принятия решений для сеялок точного высева, входящих в состав комплекса машин систем ТЗ в сельскохозяйственном производстве.

Совокупность полученных результатов позволяет утверждать о достижении целей диссертации – повышении эффективности методов и алгоритмов выбора норм высева яровых зерновых культур, обеспечивающих снижение рисков потерь урожая.

В ходе проведенного исследования получены следующие результаты.

1. Проведен анализ мировой и отечественной литературы по разнокачественности семенного материала, обуславливающего различие в полевой всхожести производственных партий семян, на основании которого установлено, что для принятия управленческих решений при проведении сева традиционные методы являются недостаточно эффективными и целесообразна разработка моделей оценивания качества семян, основанного на понятиях нечеткой логики.

2. Создана математическая модель для прогнозирования урожайности и алгоритм оценивания рисков потерь урожая яровых зерновых культур с учетом степени кондиционности семенного материала, агроклиматических условий и выбранной культуры возделывания, с применением логико-лингвистической модели на экспертных знаниях, позволяющая находить оптимальные нормы высева.

3. Разработана методика оценивания рисков снижения полевой всхожести при посеве зерновых культур с учетом разнокачественности семенного материала для принятия обоснованных решений при проведении сева в сельскохозяйственном производстве семенами различной кондиционности, включающая два независимых метода решения задач.

4. Разработаны алгоритмы и компьютерные программы для вычисления сравнительной оценки степени кондиционности семенного материала перед посевом семян яровых зерновых культур, обеспечивающие более высокую надежность принятия решений.

5. Проведен многоатрибутивный анализ предпосевного состояния партий семян яровых зерновых и зернобобовых культур в различных округах РФ на дату 01.03.2012г. с целью ранжирования наиболее и наименее подготовленных округов к процессу проведения сева по степени кондиционности семенного материала.

6. Разработан алгоритм оценивания агроклиматических условий перед проведением сева на основе методики построения логико-лингвистической модели.

7. Создана модель оценивания условий проведения сева семян яровых зерновых культур с учетом прогнозируемой урожайности, рисков потерь урожая и выбранной нормы высева.

8. Разработаны компьютерные программы, реализующие выбранные алгоритмы для проведения численных экспериментов.

9. Проведена экспериментальная апробация разработанной методики поиска оптимальных норм высева семян яровых зерновых культур на единицу площади поля в Меньковской опытной станции Агрофизического НИИ с учетом данных, полученных в результате полевых опытов за 2006-2013 годы, которая свидетельствует о надежности разработанных моделей и алгоритмов.

**Основные положения диссертации опубликованы
в следующих работах:**

1. Архипов М.В., Ермаков Р.Н. 2015. Оценка рисков снижения полевой всхожести при посеве зерновых культур с учетом степени кондиционности семенного материала на основе моделей нечеткой логики. Известия Санкт-Петербургского Государственного Аграрного Университета, № 39, 68-71 с. **(Из перечня ВАК РФ)**
2. Архипов М.В., Ермаков Р.Н. Применение моделей нечеткой логики для прогноза полевой всхожести зерновых культур с учетом степени кондиционности семенного материала. Сборник научных трудов отделения сельскохозяйственных наук Петровской академии наук и искусств. Выпуск 6. ООО «ИННОВАЦИОННЫЙ ЦЕНТР ЗАЩИТЫ РАСТЕНИЙ» ВИЗР. СПб. - 2015. - С.74-79
3. Ермаков Р.Н. 2012. Формирование исходных данных для построения экспертной системы, предназначенной для оценки рисков условий для проведения сева различных сортов пшеничной агрокультуры. Известия Санкт-Петербургского Государственного Аграрного Университета, № 26, 79-86 с. **(Из перечня ВАК РФ)**
4. Гусакова Л.П., Ермаков Р.Н. 2012. Нечеткологический подход к проектированию и разработке интеллектуальной системы, предназначенной для оценки условий проведения сева. Известия Санкт-Петербургского Государственного Аграрного Университета, № 26, 70-79 с. **(Из перечня ВАК РФ)**
5. Архипов М.В., Куртнер Д.А. Ермаков Р.Н. 2011. Нечеткологический подход к разработке интеллектуальной системы, предназначенной для оценки условий проведения сева. Известия Санкт-Петербургского Государственного Аграрного Университета, № 25, 46-49 с. **(Из перечня ВАК РФ)**
6. Куртнер Д. А., Е. Д. Швецова и Р. Н. Ермаков. 2011. Многокритериальный анализ мелиоративных технологий на основе теории принятия решений в нечетких условиях. Известия Санкт-Петербургского Государственного Аграрного Университета, № 24, 58-62 с. **(Из перечня ВАК РФ)**
7. Куртнер Д. А., Е. Д. Швецова, Р.Н. Ермаков. 2009. Моделирование многокритериальной оценки агротехнологий. Материалы координационного совещания и научной сессии Агрофизического института, СПб: 2009, - 197-205. с.
8. Куртнер Д. А., Е. Д. Швецова, Р.Н. Ермаков. 2009. Программа для ЭВМ: Программа многокритериальной оценки агротехнологий. Свидетельство о гос. регистрации № 2009615288.
9. Krueger, E.D., Kurtener D.A., Yakishev V.P., Ermakov R.N., Khosla R. 2010. Evaluation of Different N management strategies using a tool for fuzzy multi

- attributive comparison of alternatives. *In* 10th International Conference on Precision Agriculture, July 18-21, Denver, USA.
10. D. Kurtener, E. Krueger, and R. Ermakov. 2009. Development of Tool for Fuzzy Multi Attributive Comparison of Alternatives. *In: Applications of Soft Computing in Agricultural Field Experimentations* (D. A. Kurtener, V. P. Yakushev, H. A. Torbert, S. A. Prior, E. D. Krueger eds), published by Agrophysical Research Institute, St. Petersburg, Russia.
 11. T.S. Kornecki, H.A. Torbert, E. Krueger, D. Kurtener, and R. Ermakov. 2010. Fuzzy Multi Attributive Comparison of Roller Designs used to Terminate a Cover Crop. *In: Applications of Soft Computing in Agricultural Field Experimentations* (D. A. Kurtener, V. P. Yakushev, H. A. Torbert, S. A. Prior, E. D. Krueger eds), published by Agrophysical Research Institute, St. Petersburg, Russia.
 12. R. Khosla, E. Krueger, D. Kurtener, and R. Ermakov. 2010. Fuzzy Multi Attributive Comparison of Different N Management Strategies. *In: Applications of Soft Computing in Agricultural Field Experimentations* (D. A. Kurtener, V. P. Yakushev, H. A. Torbert, S. A. Prior, E. D. Krueger eds), published by Agrophysical Research Institute, St. Petersburg, Russia.