ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
АГРОФИЗИЧЕСКИЙ НАУЧНО – ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

Ермаков Роман Николаевич

Оптимизация норм высева семян яровых зерновых культур с использованием алгоритмов нечеткой логики.

Специальность 06.01.03 – агрофизика

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук,
И.М. Михайленко

Санкт-Петербург
2015

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ

ВВПП – весовая влажность почвы перед посевом

КСПС ЯЗК – качественные и сортовые показатели семян яровых зерновых культур

ЛДА - линейный дискриминантный анализ

ЛП – лингвистические переменные

ЛПР – лицо, принимающее решение

МСО - многоатрибутивная сравнительная оценка

МТС - масса 1000 семян

НЧ – нечеткое число

НШ – нечеткая шкала

НМ – нечеткое множество

НС - нейронная сеть

НУУПС – низкий уровень условий проведения сева

ПВВТ - показатель внешней и внутренней травмированности

ПНСП – процент некондиционных семян к проверенным

СУУПС – средний (нормальный) уровень условий проведения сева

ТНМ – теория нечетких множеств

ТППП – температура почвы перед посевом

УПОППС - уровень подготовки округов РФ к процессу проведения сева

УПС – условий проведения сева

УУПС - уровень условий проведения сева

УУПСНС – уровень условий проведения сева ниже среднего

ЧС - чистота семян

ЯЗК – яровые зерновые культуры

Содержание

Введение……...7

Глава 1. Актуальность проблемы.....……..……14

1.1 Риски потерь урожая яровых зерновых культур в сельскохозяйственном производстве при выборе норм высева.....15

1.2 Сельскохозяйственные риски, обусловленные качеством (кондиционностью) семенного материала …….....……19

1.3 Выводы по главе 1……..…….27

Глава 2. Анализ возможных методов принятия решений по выбору оптимальных норм высева на основе теории нечеткой логики и нечетких множеств …….....……..… . 28

2.1 Обзор методов нечеткого многоатрибутивного анализа сельскохозяйственных технологий...……..28

2.2 Известные подходы к решению задач классификации семян в сельском хозяйстве по степени их кондиционности.....…30

2.2.1 Метод двумерной проекции многомерных кластеров.....31

2.2.2 Алгоритм нечеткого вывода Мамдани.....39

2.2.3 Многослойный персептрон ……....…….....41

2.2.4 Метод многоатрибутивной сравнительной оценки по схеме Ли-Ванга.42

2.2.5 Алгоритм построения логико-лингвистических моделей….....45

2.3 Выводы по главе 2……...52

Глава 3. Многокомпонентный анализ рисков потерь урожая и оптимизация норм высева семян яровых зерновых культур.....54

3.1 Разработка алгоритма многоатрибутивного анализа по схеме Ли – Ванга.....57

3.1.1 Принципы построения алгоритма многоатрибутивногоного анализа вариантов предпосевного состояния семян яровых зерновых культур.....57
3.1.2 Обоснование выбора наилучшей альтернативы.....58
3.1.3 Компьютерная программа для многоатрибутивного анализа предпосевного состояния семян яровых зерновых культур.....62
3.1.4 Численный пример многоатрибутивного анализа предпосевного состояния семян яровых зерновых культур……..……68
3.2 Построения логико-лингвистической модели оценивания состояния семенного материала яровых зерновых культур при посеве.....86
3.2.1. Постановка задачи.....86
3.2.2. Выбор и обоснование факторного пространства.....87
3.2.3. Построение опросной матрицы и получение модели.....90
3.2.4 Проведение практических расчетов оценки биофизических показателей семян……...93
3.3. Сравнительный анализ расчетов оценки состояния семенного материала при проведении сева по двум предложенным алгоритмам.....95
3.4. Оценка риска снижения полевой всхожести семян яровых зерновых культур перед проведением посевных работ……..98
3.4.1 Оценка риска снижения полевой всхожести семян ЯЗК на основе логико-лингвистического подхода…….98
3.4.2 Оценка риска снижения полевой всхожести семян ЯЗК на основе метода минимальных средневзвешенных отклонений по схеме Ли – Ванга…..…..103
3.4.3 Компьютерная программа для оценки рисков снижения полевой всхожести семян яровых зерновых культур перед проведением посевных работ……..……105
3.5. Разработка математической модели оптимизации норм высева семян яровых зерновых культур.....107
3.5.1. Постановка задачи.....107
3.5.2. Оценка агроклиматических условий для проведения сева.....107

3.5.3. Прогнозирование урожайности яровых зерновых культур на основе предпосевной степени кондиционности семенного материала, агроклиматических условий и выбранной культуры возделывания.....112
3.5.4 Оценка рисков потерь урожая яровых зерновых культур на основе предпосевной степени кондиционности семенного материала, агроклиматических условий и выбранной культуры возделывания.....115
3.5.5 Оценка условий проведения сева яровых зерновых культур на основе модели Мамдани с учетом экспертной информации.....118
3.5.6 Компьютерная программа для поиска оптимальных норм высева семян яровых зерновых культур…….....125
3.6 Выводы по главе 3…….....127

Глава 4. Апробация моделей, алгоритмов и программ по оптимизации норм высева.....129
4.1. Применение созданных нечетких моделей для оценки рисков снижения полевой всхожести семян яровых зерновых культур перед проведением посевных работ.....130
4.1.1. Оценка рисков снижения полевой всхожести семян яровых зерновых культур при проведении сева.....130
4.1.2 Взаимосвязь между результатами классификации и уровнями рисков проведения сева.....131
4.1.3. Анализ полученных результатов оценивания при посеве рисков снижения полевой всхожести семян яровых зерновых культур.....132
4.2. Сравнительный анализ расчетов оценки рисков при проведении сева по двум предложенным алгоритмам.....133
4.3. Проведение практических расчетов для поиска оптимальных норм высева семян яровых зерновых культур в Меньковской опытной станции Агрофизического НИИ за 2006- 2013 годы.....135
4.3.1. Проведение практических расчетов для поиска оптимальных норм высева семян яровых зерновых культур.....135

4.3.2 Стандартные методики расчета нормы высева.....142
4.3.3. Анализ полученных результатов апробации.....143
4.4. Выводы по главе 4…….....148

Заключение……..149
Литература……...151
Приложение 1……..166
Приложение 2……..179
Приложение 3……..184
Приложение 4.....187
Приложение 5.....191
Приложение 6.....254
Приложение 7.....261
Приложение 8.....263
Приложение 9.....265

ВВЕДЕНИЕ

Определение нормы высева семян сельскохозяйственных культур на единицу площади поля является одной из актуальных проблем точного земледелия (ТЗ), 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, определяющими 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 ее 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). Они оказывают влияние, 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 доходит 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 не всегда позволяет достоверно оценить объект исследований, особенно 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.

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, обусловливающего 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 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.

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**.**

В первой главе рассмотрены источники рисков потерь урожая яровых зерновых культур в сельскохозяйственном производстве при выборе норм

высева семян, обусловленные качеством (кондиционностью) семенного материала.

Во второй главе диссертации проведен анализ возможных методов принятия решений в агротехнике с помощью приложений теории нечеткой логики и нечетких множеств.

В третьей главе рассматриваются разработанные математические модели оптимизации норм высева семян яровых зерновых культур, включающие оценивание степени кондиционности семенного материала и агроклиматических условий.

В четвертой главе представлены результаты апробации разработанной методики 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 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.

Глава 1. Актуальность проблемы

Сельскохозяйственное производство является одним из наиболее рискованных видов современного бизнеса. Это во многом связано с влиянием природно-климатических условий и большой информационной неопределенностью, с которой приходится сталкиваться любому хозяйствующему субъекту. Эта неопределенность связана с большими размерами сельскохозяйственных полей, на которых формируется урожай, с их пространственно-временной неоднородностью, с неопределенностью продуктивных свойств сельскохозяйственных культур, отсутствием должного опыта, не позволяющего принимать адекватные и своевременные управленческие решения, в условиях существенных колебаний рыночной конъюнктуры.

Большой практический интерес представляет оценивание рисков в растениеводстве при решении экономических задач, таких как убытки, причиненные застрахованному урожаю сельскохозяйственных культур. В работе [85] выделены основные риски сельскохозяйственного производства на различных этапах производственного процесса, которые можно разделить на четыре основных вида: природно-климатический, рыночно-конъюнктурный, организационно-производственный и экологический. Усилия современной аграрной науки во многом направлены на существенное уменьшение риска сельскохозяйственного производства, как в отношении его продуктивности, производительности, так и в части неблагоприятного воздействия на окружающую среду. Достижения в области информационных технологий, вычислительной техники, приборостроения и технологического оборудования позволяют добиться в этом направлении существенных результатов. Однако большая сложность, недостаточная изученность и слабая формализация всех компонентов производства не позволяют реализовать классические схемы управления всеми видами рисков.

1.1 Риски потерь урожая яровых зерновых культур в сельскохозяйственном производстве при выборе норм высева.

Риск — это один из возможных способов выражения неопределенности при оценке эффективности управления такими сложными системами, каким является сельскохозяйственное производство. В последнее время, его оценки используются как в технических, так и экономических отраслях. Чаще всего здесь оценивается скалярный или однокомпонентный риск. В то время при выборе альтернатив управления в сложной системе необходимо учитывать многокомпонентный или векторный риск. Причем для большей части его компонентов невозможно выбрать числовую меру. Когда система включает разные элементы риска с неопределенными источниками и величинами. Во многом это относится к сельскохозяйственному производству, характеризуемому многими источниками риска.

В классическом понимании риск некоторого негативного события определяют как произведение вероятности его появления на величину возможного ущерба, возникающего в результате возникновения этого события [85-86]. В работе [85] показан механизм управления рисками, который в литературе называют риск-менеджементом. В его основе лежит целенаправленный поиск и организация работы по снижению степени риска, искусство получения и увеличения дохода (выигрыша, прибыли) в неопределенной хозяйственной ситуации. Конечная цель риск-менеджмента соответствует целевой функции предпринимательства. Она заключается в получении наибольшей прибыли при оптимальном, приемлемом для предпринимателя соотношении прибыли и риска.

Для сельскохозяйственного производства информация о вероятностях элементов риска не может быть задана с высокой степенью определенности, поэтому целесообразно использовать нечеткий подход [10]. Этот подход доказал свою эффективность в информационных технологиях, управлении,

оценивании экологических ситуаций и во многих других приложениях. При оценивании величин элементов риска, его можно рассматривать в терминах лингвистических переменных: «очень высокий», «высокий», «очень низкий», «низкий» и т. д. [72]. Теория нечетких множеств эффективно справляется с этим типом неопределенности, и лингвистические переменные могут использоваться в ходе экспертного оценивания.

Традиционным основанием для принятия управленческих решений о необходимых нормах высева и проведении сева являются, разработанные еще в 80-е годы способы расчета нормы высева, правила проведения сева и опыт агрономов.

В настоящее время разработаны несколько способов расчета нормы высева, однако применяемые в сельскохозяйственном производстве способы определения норм высева характеризуются невысокой точностью [17]. В этой работе отмечается, что стандартный способ расчета нормы высева зерновых культур не учитывает принципиально важного момента, связанного с тем, что показатель полевой всхожести зависит от глубины заделки семян при посеве и способствует разной величине продуктивности, формируемых при этом растений. Невысокая точность определения норм высева обусловлена еще и тем, что, в частности, целый ряд вопросов, связанных с разной степенью неоднородности семенного материала не позволяет рассчитать корректно требуемую норму высева, а это, в свою очередь, приводит к тому, что агроном завышает реальную норму высева по сравнению с расчетной на 10-30%.

Урожайность культуры зависит от многих случайных и трудно формализуемых факторов, таких как технология выращивания, параметры климата, сорт и других, что во многом затрудняет его прогноз. Процесс сельскохозяйственного производства тесно связан с природными факторами, а потому он подвержен воздействию стихийных сил больше, чем производство в других отраслях. Следует подчеркнуть, что сельскохозяйственные риски часто обусловлены аномальными природными

явлениями, такими, как засуха, наводнение. По своим характеристикам они могут относиться к стихийным бедствиям, поскольку могут охватывать сразу большую территорию.

Вопросам изучения влияния на конечную продуктивность предпосевной обработки почвы, агрометеорологических условий, качества посевного материала и по ряду других факторов посвящена работа [91]. В ней показано, что для исследования условий проведения сева применяются различные методы, такие как космический мониторинг запаса продуктивной влаги пахотных земель и оценка календарных дат сева.

Тем не менее, несмотря на все сложности, в ТЗ все равно приходится ориентироваться на показатель "*ожидаемая урожайность культуры*", являющийся критерием правильности выбора норм высева.

Плодородие почв в современной агрономии является одной из самой трудно формализуемых категорий. В низко плодородных почвах возрастают риски недополучения на протяжении вегетационного периода растениями в доступных им формах азота, элементов минерального питания, воздуха, тепла и воды [24], что приводит к снижению конечной продуктивности. В этой работе акцентируется, что почвенное плодородие не постоянно и при рациональном ведении хозяйства может улучшаться.

Почвенное плодородие имеет важное экологическое значение, так как оно увеличивает ценность земель сельскохозяйственного назначения не только как объектов производственной деятельности, но и как компонентов биосферы [14]. В этой работе подчеркнуто, что в последние десятилетия резко активизировались процессы деградации почв, заметно ухудшилась экологическая обстановка сельских районов, в значительной мере снизились продуктивность сельскохозяйственных угодий и качество получаемой на них продукции. А также отмечено, что орошаемые земли способствуют увеличению биопродуктивности земель в 2-3 раза, но в тоже время, при несоблюдении технологий орошения процессы деградации почвы ускоряются, и урожайность сельскохозяйственных культур снижается.

Одним из основных факторов, способствующих стабилизации и сохранению плодородия почв и экологии агроландшафтов, является оптимальное соотношение сельскохозяйственных угодий. От того, насколько они оптимально адаптивны к местным условиям, зависит не только качественное состояние земельных угодий, но и их производительность.

Выделены основные группы свойств, которые определяют уровень почвенного плодородия:

1) Химический состав и физико-химические свойства: высокое содержание гумуса и доступных для растений форм азота, фосфора, калия и других питательных элементов, наличие микроэлементов, близкая к нейтральной реакция среды, насыщенность ППК преимущественно кальцием, низкое содержание поглощенного водорода, отсутствие поглощенного натрия и избытка легкорастворимых солей;

2) Физические свойства: агрономически ценная водопрочная зернистая или комковатая структура, высокая пористость, обеспечивающая аэрацию, хорошая впитывающая и водоудерживающая способность и др.;

3) Благоприятный гидротермический режим, обеспечивающий теплом и влагой оптимальное развитие растений в течение всего вегетационного периода. Тепловые условия характеризуются суммой температур выше 10 °С в слое почвы 0...20 см, длительностью вегетационного периода (выше 10 °С) на той же глубине, а также длительностью и глубиной промерзания почв. Наиболее благоприятный водно-воздушный режим создается при оптимальном содержании влаги (около 60 % ПВ) и кислорода (12...25 %) в составе почвенного воздуха;

4) Биологические свойства: высокий уровень микробиологической активности различных групп микроорганизмов, обусловливающих процессы гумификации и мобилизации элементов питания растений в доступной для них форме.

Но, несмотря на эти сложности, *почвенное плодородие* по сути дела является основной базой для выбора оптимальной нормы высева любой культуры.

В связи с этим для решения задач по оценивании степени рисков, связанных при посеве зерновых культур с потерями урожая, особую актуальность приобретает применение систем искусственного интеллекта. Среди таких систем можно выделить системы, основанные на нечеткой логике. Методы нечеткой логики применялись в сельскохозяйственном производстве для решения таких задач, как прогнозирование урожая сельскохозяйственных культур [104], управление дозой внесения гербицидов [132] и представляют полезную основу для решения такого-рода задач. Предполагается для решения данной задачи максимально использовать опыт экспертов – агрономов. При этом необходимо предусмотреть возможность исключения некоторых ошибок субъективного характера со стороны экспертов в случае неадекватного оценивания ситуации.

1.2 Сельскохозяйственные риски, обусловленные качеством (кондиционностью) семенного материала.

Проблема проведения посевной компании в необходимые сроки и рисков, связанных с выбором необходимой нормы высева семян и глубины их заделки в почву, во многом, определяется исходным качеством семенного материала. Комплексное оценивание этого важного показателя биологической полноценности партий семян даст возможность более точно прогнозировать полевую всхожесть [8, 40] и выбирать оптимальную для данной партии семян норму высева.

Сейчас из-за не высокого качества используемых в производственных посевах партий семян приходится высевать до 50 кг на га больше, чем рассчитывается по имеющимся в настоящее время таблицам.

Принятие решений о нормах высева, сроках и технологиях проведения сева осложняется индивидуальным и плохо формализуемым характером накопленных знаний о вариабельности показателя полевой всхожести для зерновых культур [9]. Попытки применения точных математических и статистических методов, которые предпринимались различными специалистами при изучении явления полевой всхожести и причин ее вариабельности не привели к положительным результатам.

Проблема качества, неоднородности семенного материала вновь обострилась в России в связи с развитием рыночных отношений. Это повлекло за собой, начиная с 90-х годов, выброс на рынок большого количества партий семян сомнительного качества и увеличение объемов высева непроверенных семян. Так, по данным, указанным в работе [57], в период 1994-2004 гг. по сравнению с 1979-1982 гг. увеличилась доля некондиционных семян у зерновых и зернобобовых культур почти в 3 раза и у многолетних трав – в 2 раза. Несколько лучше обстоит дело с озимыми зерновыми культурами.

С одной стороны, неоднородность или описанное в литературе еще как разнокачественность или гетерогенность семян – явление биологически полезное, выработанное в процессе эволюции, которое обеспечивает устойчивость и надежность популяции, необходимые для выживания вида [15]. С другой стороны, разнокачественность нередко нежелательна для практики сельскохозяйственного производства. Недружность всходов, многоярусность колосоносного слоя, неодновременное созревание, разная продуктивность растений и неоднородность продукции в значительной мере определяется разнокачественностью посевного материала [83].

Большое влияние на качество формирующихся семян оказывает соблюдение условий снабжения питательными веществами, что обусловливается плодородием почвы, ее увлажнением и фракционным составом, условиями агротехники, а также типом предшественника и

густотой стеблестоя. Это формирует так называемый *трофический тип неоднородности семян*.

Одно из условий обеспечения высокого урожая – получение оптимального числа растений на единицу площади. На запущенных посевах при недостатке влаги и питательных веществ формируются мелкие и легкие урожайные семена [64].

Существенное влияние оказывают такие факторы как климатическая зона и год прорастания. Важными факторами среды являются температура, влажность воздуха и почвы, суточные ритмы света и темноты [42, 59, 83], которые обеспечивают так называемую *экологическую неоднородность*.

При низких температурах затягивается период всходов, что является одной из причин неравномерности в пространстве и времени всходов и разнокачественности растений. Это рассматривается в работе [49] как отрицательное явление, т.к. оказывает серьезное влияние на качество и величину урожая.

В определенных случаях семена не могут не пройти полное послеуборочное дозревание и перейти к вторичному покою. Обычно это связано с влажной и сырой погодой во время созревания семян и имеет место в средней полосе Европейской части России.

Считается, что послеуборочное дозревание завершается к моменту посева семян следующего года или, что в поле семена попадут в такие условия (низкие температуры или освещенность при мягкой заделке), которые снимают состояние покоя. Так, свежеубранные семена с незавершенным периодом послеуборочного дозревания лучше прорастают при чередовании пониженных (8-12°С) и оптимальных температур (около 20°С), такие условия наблюдаются в начале осени и рано весной, когда температура воздуха и почвы в ночной период понижается, а днем повышается [83].

Одним из способов улучшения качества недозрелых семян и семян с повышенной влажностью является их сушка. При правильном процессе

сушки их качество может быть даже улучшено. Однако увеличение влажности и температуры семян при неблагоприятных условиях дозревания в валках, при хранении и транспортировке сырых семян может привести к нежелательным последствиям: прорастанию некоторых семян на корню, большинство из которых впоследствии не способны к вторичному прорастанию [41].

На жизнеспособность семян могут оказывать сильное влияние механические повреждения (плющение зерновок, вмятины, выбоины, трещины в эндосперме и повреждения зародыша), полученные во время уборки, сушки и транспортировки [90, 98].

Семена с повышенной влажностью могут получать повреждения в виде ушибов, вмятин. Преобладающим и наиболее опасным, связанным с потерей жизнеспособности семян, типом повреждения у влажных семян являются ушибы на зародышевых корешках. При этом глубина вмятины имеет большее значение, чем место расположения [61].

Наиболее сильные повреждения сразу же снижают жизнеспособность семян. Небольшие повреждения часто быстрой потери жизнеспособности не вызывают, но постепенно, по мере старения семян и в зависимости от условий хранения становятся все более опасными [61].

В процессе дальнейшего длительного хранения неоднородность семян может усилиться за счет таких факторов, как относительная влажность воздуха, температура, газообмен, микрофлора и зараженность насекомыми.

Таким образом, указанные факторы и формируют неоднородность семян, как между партиями, так и в пределах одной партии и даже образца.

Понятия биологической и хозяйственной неоднородности взаимосвязаны и взаимообусловлены. Биологическая неоднородность семян определяет их хозяйственную неоднородность. Под биологической неоднородностью понимают разнообразие семян по таким показателям как степень жизнеспособности, масса 1000 семян, натура, энергия прорастания, всхожесть, выполненность, биологическая полноценность и др.

Хозяйственная неоднородность определяется способностью семян давать жизнеспособное продуктивное растение и в целом урожай. Здесь следует различать и конечную цель посевов – на товарное зерно или для посевов.

Неоднородность семян, как правило, является характеристикой партии, особенно наглядно это проявляется на таком показателе, как масса семян. Обычно считается, что чем крупнее семя, тем оно лучше, а самые мелкие семена неполноценны и непригодны для посева. Однако, при определенных условиях (оптимальная глубина заделки, норма высева, тип почвы), можно получить высокий урожай и при посеве мелкими семенами [89].

Таким образом, неоднородность семян складывается в результате множества внешних и внутренних факторов. Будучи необходимой, в определенной степени, для сохранения вида она является отрицательной с хозяйственной точки зрения.

Анализ одного из видов неоднородности семян, обусловленного дефектами их внешней структуры, подробно рассмотрен в монографии [93]. В ней автор делает принципиально важный вывод: высокий уровень внешней травмированности семян обусловлен тем, что современные отечественные машины для их уборки и послеуборочной обработки не отвечают своему целевому назначению и поэтому концептуальный подход к их проектированию необходимо изменить. Еще большая актуальность данной тематики обусловлена тем, что при проектировании новой техники необходимо учитывать не только степень внешней, но и внутренней травмированности семенного материала. В работе [17] отмечается, что стандартный способ расчета нормы высева зерновых культур не учитывает принципиально важного момента, связанного с тем, что показатель полевой всхожести зависит от глубины заделки семян при посеве и способствует разной величине продуктивности, формируемых при этом растений.

Применяемые в настоящее время показатели посевных качеств семян, такие как жизнеспособность, энергия прорастания семян и лабораторная всхожесть, определяемые в оптимальных условиях среды отражают, скорее

всего, потенциальную возможность всхожести. Фактическая полевая всхожесть оказывается значительно ниже лабораторной на 15-25 и более процентов. Такой разрыв между лабораторной и полевой всхожестью получается по многим объективным причинам: во-первых, семена попадают в почву при посеве в различные условия по глубине, плотности структуры почвы и т.д., во-вторых, семена по своей природе разнокачественные и преодолеть даже одинаковый барьер удается не всем семенам.

Однако установить или снизить противодействия возможно, и в этом смысле имеются резервы повышения полевой всхожести: улучшение и отбор лучших семян.

Экономическая эффективность от отбора на посев лучших семян очевидна – это уменьшение непроизводительных потерь за счет выбраковки плохих партий семян и повышения урожайности за счет высева полноценных семян.

В сельскохозяйственной практике обычно, если агроном увеличивает показатель нормы высева, то условия проведения сева по качеству семенного материала оставляют желать лучшего. Делается это для того, чтобы снизить возросшие риски снижения полевой всхожести зерновых культур при проведении сева. Варианты решений, предложенные в работах [17-20], вызывают практический интерес, но они испытывались в основном в лесостепной зоне Курганской области (на Белозерском Госсортучастке) и еще нуждаются в дальнейшей практической проверке.

В сложной системе показателей (МТС, ЧС, всхожесть, влажность и других), определяющих результирующий интегральный показатель, особое значение принадлежит признаку крупности. Крупное зерно, как правило, ассоциируют с полевой продуктивностью. Данный показатель, наряду с озерненностью колоса и густотой стояния растений, является основным компонентом в формировании урожайности зерновых культур. Масса 1000 зерен определяет как величину урожая, так и качество семян. Если семена –

выполненные и крупные, то это обуславливает высокий урожай, хорошие посевные и отличные технологические качества зерна.

Микробиом и риски. Одним из важных и недостаточно учитываемых при оценке ростового потенциала семени является его характеристика, связанная с оценкой микробиологической и фитопатологической составляющей.

Понятие «Микробиом семени», учитывающее весь «пейзаж» микробиологической компоненты, находящейся, как на поверхности семени, так и на его внутренних формообразующих органов еще находится только в самом начале его описания и требует серьезных микробиологических исследований оценки влияния, как полезной, так и патогенной микрофлоры на стартовых этапах прорастания семян, что осложняется еще необходимостью учета взаимодействия этой микрофлоры с почвенной микрофлорой.

В работах [17-20] показано, что в настоящее время не отработаны вопросы взаимосвязи нормы высева яровой пшеницы и качеством посевного материала, в частности, энергией прорастания. Это означает, что применяемые в сельскохозяйственном производстве способы определения нормы высева характеризуются невысокой точностью. Для семеноводческих хозяйств и государственных сортоиспытательных участков при формировании высокопродуктивных посевов нужны более точные способы расчета, учитывающие весь комплекс факторов. Например, неучитываемый в формулах показатель внешней и внутренней травмированности (ПВВТ) семян делает оценку нормы высева менее точной. Известно, что травмированное семя в полевых условиях, с одной стороны, имеет существенное снижение силы роста и энергии прорастания, с другой стороны, через трещинки в семя проникают бактерии.

Таким образом, расчет нормы высева на основе стандартных методик не дает полного представления об оптимальной норме высева. Требуется другое решение вопроса, в частности можно классифицировать состояние

семенного материала по степени кондиционности на основе большего количества факторов с учетом экспертных оценок.

В связи с этим для решения задач по оценке степени рисков, связанных при посеве зерновых культур со снижением показателя полевой всхожести особую актуальность приобретают применение систем искусственного интеллекта, основанных на нечеткой логике. Предполагается для решения данной задачи максимально использовать опыт экспертов – семеноводов, агрономов.

Разработка и применение нечетких экспертных систем будет мощным инструментом для решения широкого круга практических задач сельского хозяйства, связанных с посевом, уборкой, сушкой, послеуборочной подработкой и хранением зерна различного целевого назначения (семенного, фуражного).

Основным итогом аналитического обзора, посвященного проблемам оценивания рисков снижения полевой всхожести семян при посеве является следующее:

- интегральная оценка качества семенного материала с учетом дополнительного показателя его биологической полноценности – силы роста позволит давать более точный прогноз полевой всхожести;

- учет показателя скрытой травмированности партий семян необходим для выбора оптимальной дозы протравителя в минимальной степени снижающей их ростовой потенциал.

Таким образом, только комплексная оценка качества партий семян с учетом их физиологического, микробиологического и фитосанитарного статуса способна дать высоко достоверный прогноз полевой всхожести.

1.3 Выводы по главе 1.

На основе аналитического обзора мировой и отечественной литературы можно сделать вывод о том, что для оценивания рисков, связанных с технологическими операциями в процессе сева, целесообразно использование специальных математических приемов, основанных на экспертных оценках показателей качества семян, влияющих на их полевую всхожесть и применением алгоритмов нечеткой логики. Реализация такого подхода позволяет найти оптимальную норму высева семян яровых зерновых культур даже для слабоструктурированного характера экспертной информации.

Глава 2. Анализ возможных методов принятия решений по выбору оптимальных норм высева на основе теории нечеткой логики и нечетких множеств

В данной главе проводится анализ и выбор возможных математических методов и подходов для решения поставленных в данной диссертационной работе задач исследования.

1. Каждый рассматриваемый метод имеет свои достоинства и недостатки, которые ограничивают его применимость для решения практических задач в силу математической специфики самого метода. Поэтому в дальнейшем каждый из выбранных методов анализа реализуется в виде программного продукта и возможность его применения для решения сельскохозяйственных задач иллюстрируется на конкретных примерах с практической и методологической стороны.

2. Программная реализация каждого из методов подразумевает разработку соответствующих алгоритмов, учитывающих их конкретные особенности.

3. Решение задачи диссертационного исследования в целом, как показано в главе 1, позволяет использовать не только статистические данные различных источников в количественном виде, но и экспертные знания, которые во многих случаях могут быть единственным источником информации.

2.1 Анализ методов нечеткого многоатрибутивного анализа сельскохозяйственных технологий.

Методы принятия решений в условиях неопределенности, основанные на многокритериальном моделировании, применяются во многих сельскохозяйственных и экологических областях и представляют собой основу для решения таких задач, как: оценка трудосберегающих

производственных систем [115]; анализ систем земледелия по возделыванию хлопчатника [125]; принятие решений в садоводстве [103]; повышение производительности труда и техники, а также уменьшение потерь при сборе урожая [127]; разработка системы поддержки принятия решений для управления сельскохозяйственным производством на полупустынных территориях [119]; многокритериальный анализ мелиоративных технологий [51], моделирование многокритериальной оценки агротехнологий [52].

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. К ним относится работа [105], в которой рассматриваются новые эконометрические модели для комплексной оценки процессов сельскохозяйственного производства. В работе [116] описывается точное земледелие как процесс многоцелевого принятия решений, который должен включать разнообразие данных, мнений, предпочтений и целей. В работе 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 [108] дана оценка на уровне фермерских хозяйств систем земледелия по возделыванию генетически модифицированной и не генетически модифицированной кукурузы. В другой работе [109] описывается многоатрибутивная модель для оценки влияния системы земледелия на качество почвы. Многоатрибутивная модель для оценки устойчивости систем земледелия представлена в работе [128]. Возможности применения многоатрибутивной модели для анализа биологического разнообразия и качества почвы в агроэкосистемах обсуждаются в работе [113]. Оценка

различных стратегий управления азотным питанием на орошаемых землях в северо-западном регионе Колорадо (США) при выращивании зерновых культур [110, 126]. В этих работах выбор стратегий управления азотным питанием растений осуществлялся с использованием относительно нового, в тоже время, очень перспективного метода *средневзвешенных минимальных отклонений* по схеме Ли – Ванга [120, 133].

Из обзора нечетких мультиатрибутивных методов принятия решений следует, что для достижения некоторых задач в рамках поставленных в данной диссертационной работе целей, в частности, интерес в применяемости вызван для определения многокомпонентной сравнительной оценки степени кондиционности различных производственных партий семян яровых зерновых культур перед посевом, на наш взгляд, наиболее подходит метод *средневзвешенных минимальных отклонений* по схеме Ли – Ванга [120, 133].

2.2 Известные подходы к решению задач классификации семян в сельском хозяйстве по степени их кондиционности.

Помимо метода построения *логико-лингвистической* модели на экспертных знаниях [33], который в данной диссертационной работе применяется для оценивания рисков снижения полевой всхожести семян яровых зерновых культур на основе разнокачественности семенного материала при проведении сева, на практике существуют и другие достаточно известные подходы [26, 67, 84]. Ниже рассмотрены эти подходы с выделением основных их достоинств и недостатков, а также их применимость для решения обозначенных в данной работе сельскохозяйственных задач.

2.2.1 Метод двумерной проекции многомерных кластеров.

Для решения проблемы оценки рисков снижения полевой всхожести при посеве зерновых культур с учетом разнокачественности семенного материала представляют интерес подходы к проектированию и разработке с использованием теории нечетких множеств. В частности, в данной работе уровень рисков проведения сева различных сортов яровой пшеницы может быть определен с использованием нечеткой классификации. Такой подход позволяет учитывать слабоструктурированный характер экспертной информации. Структура нечеткого классификатора показана на рис. 2.1., где выходной результативный показатель УРПС – уровень риска проведения сева.

Рис. 2.1. Структура модели нечеткого классификатора.

Теорию нечетких множеств часто используют для решения задач классификации, примером которой является оценка условий проведения сева на основе качественных и сортовых показателей семян яровых зерновых культур (КСПС ЯЗК).

Пусть нами введена следующая классификация условий проведения сева на основе КСПС ЯЗК: *средний (нормальный) уровень условий проведения сева* (СУУПС), *уровень условий проведения сева ниже среднего* (УУПСНС) и *низкий уровень условий проведения сева* (НУУПС). Граница между понятиями СУУПС и УУПСНС, а также между понятиями УУПСНС и

НУУПС является нечеткой (размытой), так как на усмотрение разных экспертов может быть чуть больше или чуть меньше.

В качестве входных показателей эксперты определили следующий ряд параметров:

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, %.

Данные x_j можно считать признаками для конкретных условий проведения сева на основе сортовых и качественных показателей. Они дают агроному информацию о том, можно ли успешно провести данный агроприем или даже весь технологический процесс.

Для каждого из условий проведения сева, ранее встречавшихся в практике агронома можно получить вектор признаков (x_{1i}, x_{2i}, x_{3i}, x_{4i}, x_{5i}, x_{6i}). С учетом этого, на основе имеющейся предыстории получения всходов, как результатов проведения данного агроприема (проведение сева различных сортов ЯЗК), агрономом построена необходимая для принятия решения классификация μ_i (С - СУУПС, Р - УУПСНС, N - НУУПС). Пример базы данных условий проведения сева различных сортов ЯЗК представлен в таблице 2.1.

Оценка КСПС ЯЗК представляет собой сложную задачу, которая связана с необходимостью рассмотрения большого объема данных, поэтому для ее решения можно создать автоматический классификатор, который может обучаться на основе данных о предыдущих случившихся ранее условий проведения сева (УПС) и конечных результатов таких агроприемов, а затем использовать для оценки будущих УПС. На рис. 2.2 представлена схема взаимосвязи входных и выходных параметров классификатора УПС различный сортов ЯЗК на основе сортовых и качественных показателей.

Т а б л и ц а 2.1. **База данных условий проведения сева различных сортов яровых зерновых культур**

Номер условия проведения сева	x_1(г)	x_2(%)	x_3(шт/кг)	x_4(%)	x_5(%)	x_6(%)	условия проведения сева различных сортов ЯЗК
1	41	96,45	44	92	19,5	19	C
...	...	...	...	...	...	...	...
85	25	96,3	39	91	21	9,5	P
...	...	...	...	...	...	...	...
150	29	96,4	44	87	19	13,5	N

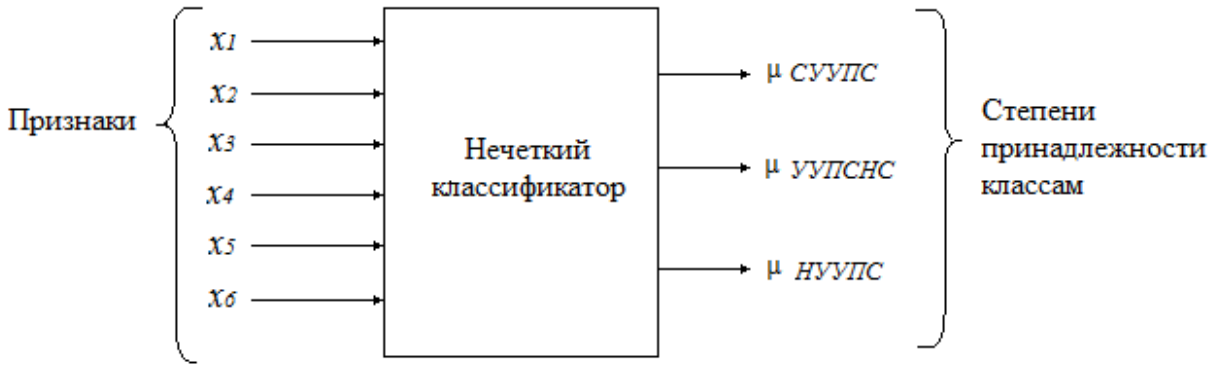


Рис. 2.2 Схема взаимосвязи входов и выходов нечеткого классификатора УПС различных сортов ЯЗК на основе сортовых и качественных показателей.

На основе вектора X*i* данных об условии проведения сева различных сортов яровой пшеницы классификатор вычисляет степени его принадлежности множествам СУУПС (C), УУПСНС (P), НУУПС (N). Наибольшая из степеней принадлежности (которые могут принимать дробные значения в интервале [0, 1]) указывает, какому из перечисленных множеств принадлежат конкретные условия проведения сева, т. е. каким образом их классифицировать.

Поскольку задачи классификации заключаются в установлении сходства объекта (элемента) с наиболее типичным элементом заданного класса (его образом), то их называют задачами распознавания образов.

В общем случае задача классификации заключается в определении размера, формы и местоположения функций принадлежности отдельным классам в пространстве признаков $X_1 \times X_2 \times ... \times X_n$.

На основе обучающей выборки (например, точек, задающих значения признаков для предыдущих условий для проведения сева различных сортов яровых зерновых культур) в пространстве признаков $X_1 \times X_2 \times ... \times X_n$ образуется кластер выбранного класса. В основе метода двумерной проекции многомерных кластеров лежит предположение о том, что если какой-либо элемент принадлежит кластеру рассматриваемого класса в n-мерном пространстве, то его проекции также принадлежат проекциям этого кластера на любое из двумерных подпространств $X_i \times X_j$ [67].

На рис. 2.3, *а* представлен пример для случая трехмерного пространства.

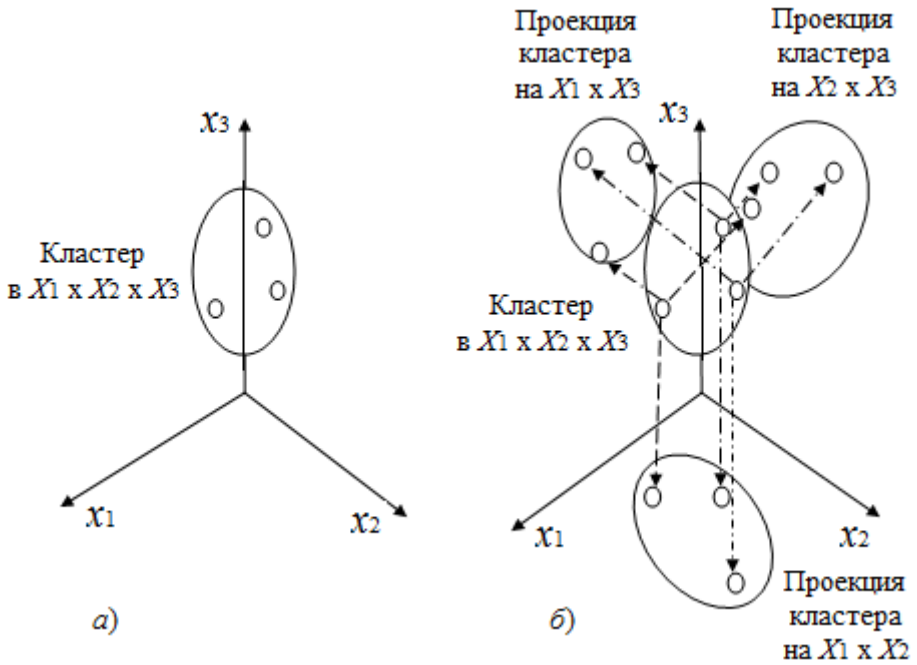


Рис. 2.3 Кластер заданного класса, сформированный на основе обучающей выборки (*а*), и его проекции на двумерные подпространства (*б*)

В основе метода двумерной проекции лежит предположение о том, что если какой-либо элемент принадлежит кластеру рассматриваемого класса в n-мерном пространстве, то его проекции также принадлежат проекциям этого кластера на любое из двумерных подпространств $X_i \times X_j$. Таким образом,

чтобы определить n-мерную функцию принадлежности кластера заданного класса $\mu_i(x_1, x_2, ..., x_n)$ необходимо определить функции принадлежности его проекций на отдельные подпространства:

$$\mu_i(x_1, x_2), \ldots, \mu_i(x_1, x_n), \mu_i(x_2, x_3), \ldots, \mu_i(x_2, x_n), \ldots, \mu_i(x_{n-1}, x_n),$$

а затем, используя один из операторов пересечения нечетких множеств, например PROD, определить n-мерную функцию принадлежности:

$$\mu_i(x_1, x_2, ..., x_n) = \mu_i(x_1, x_2)\cdot \mu_i(x_1, x_3)\cdot\ldots\cdot\mu_i(x_1, x_n) \cdot\mu_i(x_2, x_3)\cdot\ldots\cdot \mu_i(x_2, x_n) \cdot \ldots\cdot \mu_i(x_{n-1}, x_n).$$

В окончательную функцию принадлежности не требуется включать все n!/[2!(n-2)!] комбинаций пространств (x_j, x_k), для точного определения заданного класса достаточно одного терма $\mu_i(x_j, x_k)$.

В качестве функций принадлежности $\mu_i(x_j, x_k)$ проекций кластеров могут использоваться различные типы функций, однако, при построении нечеткого классификатора предпосевного состояния различных сортов яровой пшеницы на предмет оценки рисков проведения сева нами рассматривалась обобщенная вращаемая несимметричная гауссова функция, которая выражается следующим образом:

$$x_i^* = (x_i - m_i)\cos\alpha_{ij} - (x_j - m_j)sin\alpha_{ij},$$

$$x_j^* = -(x_i - m_i)\sin\alpha_{ij} + (x_j - m_j)\cos\alpha_{ij},$$

$$\mu(x_i^*, x_j^*) = exp\left[-\left|\frac{x_i^*}{\upsilon_{ij}\cdot c_{i1}+(1-\upsilon_{ij})\cdot c_{i2}}\right|^{\iota_{ij1}} - \left|\frac{x_j^*}{\omega_{ij}\cdot c_{j1}+(1-\omega_{ij})\cdot c_{j2}}\right|^{\iota_{ij2}}\right],$$

где:

m_i - координата центра гауссовой функции относительно оси x_i,

m_j - координата центра гауссовой функции относительно оси x_j,

α_{ij} – угол, образуемый главной осью среза (линии уровня) гауссовой функции (см. рис. 2.5),

ι_{ij1}, ι_{ij2} – показатели степени,

$\upsilon_{ij}, \omega_{ij}$ - логические переменные (со значениями 0 и 1) для выбора различных значений ширины c_{i1}, c_{i2}, c_{j1}, c_{j2} несимметричной гауссовой функции (см. рис. 2.5),

c_{i1}, c_{i2}, c_{j1}, c_{j2} - различные значения ширины несимметричной гауссовой функции.

На рис. 2.4 изображена трехмерная гауссова функция принадлежности. В двумерном пространстве значений входных параметров такую функцию можно представить с использованием срезов (линий уровня) для разных значений высоты.

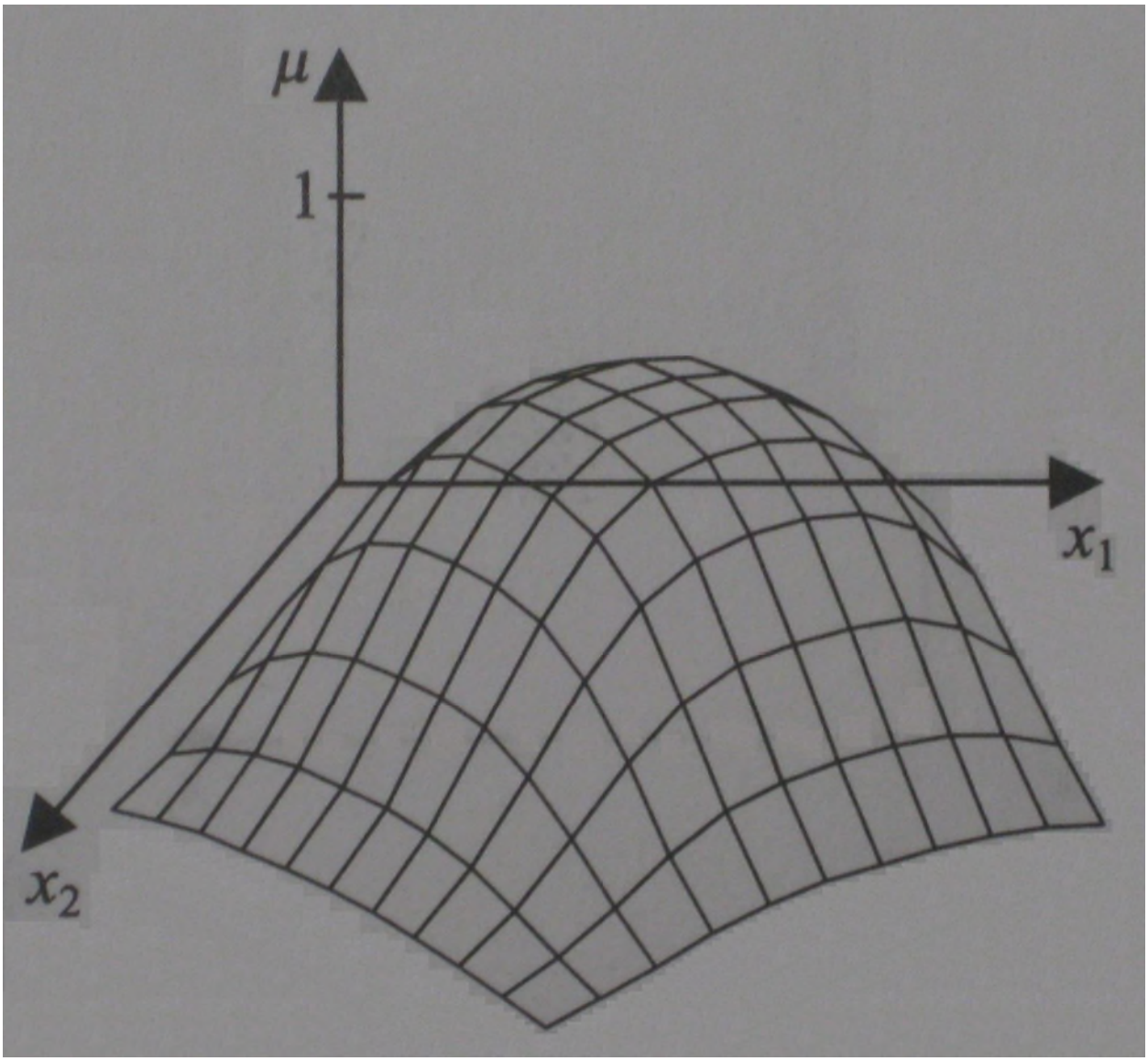


Рис. 2.4 Трехмерная гауссова функция принадлежности

Изменение значений параметров m_i, m_j приводит к смещению гауссовой функции вдоль осей, изменение α_{ij} вызывает вращение функции, параметры c_{i1}, c_{i2} асимметричным образом изменяют ширину функции, а ι_{ij1}, ι_{ij2} изменяют ее форму. Благодаря указанным параметрам, гауссову функцию можно визуально или автоматически переместить в центр выборки измерений заданного класса, а затем повернуть ее и изменить ее форму таким образом, чтобы она охватила все или большинство элементов класса (рис. 2.6).

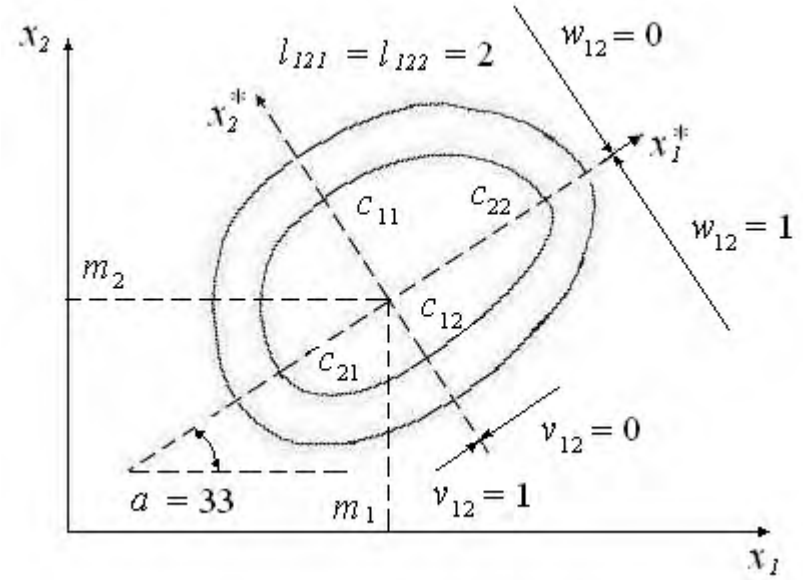


Рис. 2.5 Срезы (линии уровня) обобщенной несимметричной гауссовой функции при ее проекции на подпространство $Xi \times Xj$, где $i = 1, j = 2$

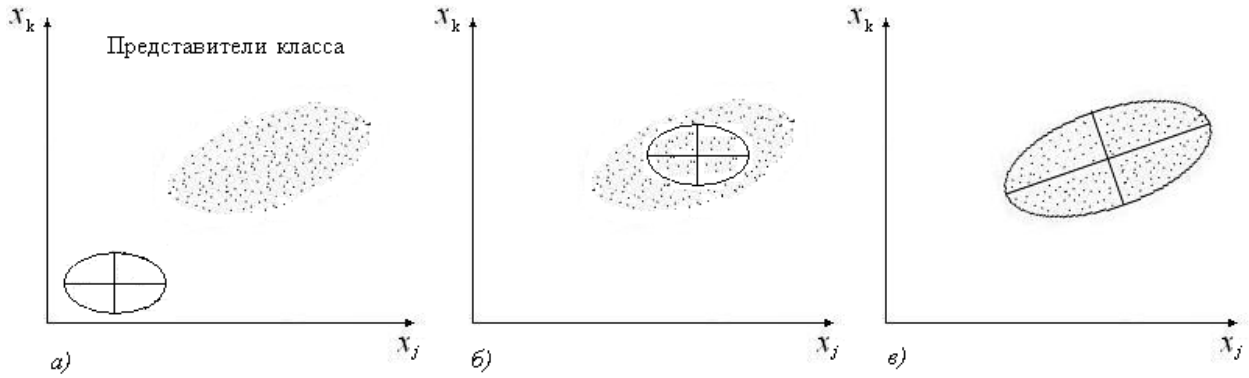


Рис. 2.6 Начальная позиция настраиваемой функции принадлежности (*а*), помещение центра функции в центр выборки (*б*), поворот функции и ее подстройка к распределению элементов выборки (*в*)

При настройке значений ширины функции принадлежности c_{i1}, c_{i2}, c_{j1}, c_{j2} необходимо придерживаться принципа, в соответствии с которым значения функции принадлежности смежным классам должны быть малыми, например, равными 0.1 (Рис. 2.7).

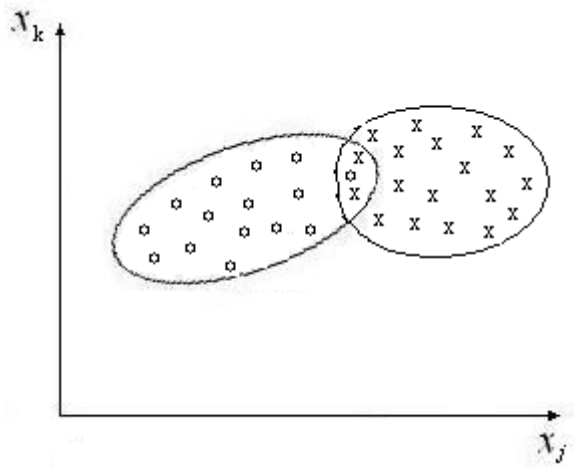


Рис. 2.7. Вблизи центров смежных классов степень принадлежности заданному классу должна быть малой (намного меньше 1)

В некоторых случаях указанному принципу следовать невозможно, в связи с тем, что в проекции на пространство $X_j \times X_k$ два класса практически совпадают друг с другом, и их нельзя разделить. Вместе с тем, классы могут различаться в проекции на другие пары пространств, например, $X_{j+1} \times X_{k+2}$, и в этом случае они могут быть разделены.

Если разделение классов в n-мерном пространстве невозможно, то рекомендуется повысить порядок (размерность) данного пространства, т.е. число принимаемых во внимание признаков.

Данный метод, несмотря на кажущуюся сложность, в действительности является простым и универсальным. Он не имеет таких существенных ограничений, как, например, в линейном дискриминантном анализе, где предполагается нормальный закон распределения для всех признаков [118]. В тоже время, с помощью метода *двумерной проекции многомерных кластеров* можно строить классификаторы для объектов исследования любого уровня сложности.

Метод *двумерной проекции многомерных кластеров* особенно хорош при использовании в смешанных моделях, например, в связке с нейросетевыми или логико-лингвистическими моделями. Однако, метод *двумерных кластерных проекций* будучи трудоемким, позволяет на основе экспертных знаний и возможности представления этих знаний в многомерном пространстве в виде четко выраженных проекций на каждое пространство классифицировать экстремальные условия с использованием комбинаций трехмерных функций принадлежности. Такой способ классификации является трудоемким, но реализуемым, и он может обеспечить хорошее распознавание, например, понимать принадлежат ли данные условия сева к многомерному кластеру «очень плохие условия». Не всегда, найденные полиномы с помощью других алгоритмов способны справляться с такой задачей. Однако, используя метод *двумерных кластерных проекций* можно распознавать столько трудноразличимых классов, сколько потребуется.

Таким образом, метод *двумерной проекции многомерных кластеров* для оценивания рисков снижения полевой всхожести семян ЯЗК на основе их биофизических показателей позволяет повысить надежность принимаемых решений в рамках планируемого проведения многомодельного анализа.

2.2.2 Алгоритм нечеткого вывода Мамдани.

Идея применения концепции лингвистической нечеткой модели к нечеткому управлению принадлежат Мамдани [121-123]. Предложенный Мамдани метод моделирования в 70 годы прошлого столетия был встречен с большим интересом и получил одобрение в связи с его простотой и доступностью. В настоящее время этот метод в современном математическом моделировании применяется очень часто, поскольку позволяет учитывать слабоструктурированный характер экспертной информации.

В рамках метода Мамдани моделируемая система рассматривается как черный ящик, характеризующийся недостаточностью информации о происходящих внутри него физических явлениях [106, 107]. Модель Мамдани представляет собой множество правил, где каждое правило задает во входных пространствах некоторую нечеткую точку и соответствующее ей значение в выходном пространстве. В работах [10, 30] представлено применение алгоритма нечеткого вывода Мамдани к оценке условий проведения сева на основе внешних погодных и почвенных характеристик, а также с учетом сортовых и качественных показателей семян яровой пшеницы. В указанных статьях описываются этапы построения модели, а также дается пример построения одного из нечетких контроллеров, образующих сеть нечетких контроллеров.

Такой подход является универсальным для создания классификаторов на основе экспертной информации. Однако для оценки рисков при проведении сева различных яровых зерновых культур на основе качественных и сортовых показателей он не может считаться наиболее эффективным. Например, для подробного описания объекта исследования с шестью входными лингвистическими переменными, разбитыми на пять терм-множеств в каждой входной переменной, понадобится определить $5^6 = 15625$ продукционных правил. Это довольно сложно реализовать на практике, поскольку нужно найти эксперта или может быть ряд экспертов, которые согласились бы дать такое количество оценок. Поэтому в указанных работах производилась декомпозиция модели, что в свою очередь приводит к снижению ее точностных характеристик.

Однако для решения задачи с небольшим количеством факторов, например, для вычисления комплексной оценки выбранной нормы высева с учетом прогнозируемой урожайности и рисков потерь урожая яровых зерновых культур, алгоритм Мамдани с использованием экспертной информации может быть достаточно эффективным.

2.2.3 Многослойный персептрон.

Искусственные нейронные сети (НС) своим возникновением обязаны знаниям, полученным о биологических нейронных сетях. Искусственные нейронные сети относятся к классу адаптивных систем, состоящих из простых обрабатывающих элементов, называемых нейронами, которые взаимодействуют друг с другом в прямом или обратном направлении.

Теория НС в настоящее время является плодотворной и быстро развивающей областью. Существует значительное число видов НС: многослойные сети прямого распространения, сети радиальных базисных функций, самоорганизующиеся карты Кохонена [47], сети адаптивной резонансной теории, сети Хопфилда [102], сети двунаправленной ассоциативной памяти, сети встречного распространения, сети типа когнитрона и неокогнитрона.

Искусственные НС нашли применение для решения задач в таких областях, как аппроксимация функций, распознавание образов, обработка сигналов, обработка визуальной информации и компьютерное зрение, экспертные системы, искусственный интеллект и др.

Важной особенностью НС является способность обучаться выполнению операций не только для входных сигналов, которые могут быть неполными или зашумленными. Еще одно достоинство искусственных НС – легкость их модификации путем повторного обучения на обновленном наборе данных. Также к достоинствам можно отнести – высокую скорость выполнения операций сетью, после того как она обучена.

Несмотря на то, что алгоритм *обратного распространения ошибки* достаточно прост и весьма популярен, он обладает целым рядом недостатков. Для того чтобы обучить сеть с его помощью, требуются обычно тысячи итераций, кроме того, характер работы этого алгоритма существенно зависит от выбора начальных весов.

Нейросетевой подход нередко встречается в практических исследованиях, например, в работе [75] описывается разработка интеллектуальной системы поддержки принятия решений для анализа электрофоретических спектров глиадина пшеницы и определения сортовой принадлежности семян.

Если говорить в целом о классификации условий проведения сева семян яровых зерновых культур на основе качественных показателей, то НС могут успешно справляться с этой задачей, но, как и в алгоритме Мамдани, нейросетям требуется большое количество оцененной экспертами информации, при этом, эффективность будет тогда выше, когда зоны интерполяции на всех входных пространствах будут как можно меньше. Если же речь идет о сравнительно небольшом наборе данных, основанном на матрице опроса экспертов, то нейросети не могут обеспечить требуемую надежность решений.

2.2.4 Метод многоатрибутивной сравнительной оценки по схеме Ли – Ванга.

В основу метода положены работы [120, 133] и, в частности, следующая формулировка проблемы: имеется набор альтернатив $X = \{x_1, x_2, \ldots, x_n\}$. Каждая альтернатива характеризуется набором показателей (атрибутов), по совокупности которых должна быть выбрана оптимальная альтернатива.

Пусть $\bar{X} = (x_{ij})_{m \times n}$ обозначает матрицу принятия решений, где x_{ij} является значением i-того атрибута для j-той альтернативы. Эта матрица принятия решений может быть преобразована в нормализованную матрицу принятия решений:

$$Z=(z_{ij})_{nxm} \qquad (2.2.4.1)$$

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

Из-за несоизмеримости между атрибутами, матрица решений $X=(x_{ij})_{n\times m}$, должна быть нормирована до проведения анализа решений. Ниже приводится наиболее часто используемый метод нормализации

$$z_{ij}=\frac{x_{ij}-x_j^{min}}{x_j^{max}-x_j^{min}}, \quad i=1,\ \ldots,\ n, \quad j\in \Omega_1, \qquad (2.2.4.2)$$

$$z_{ij}=\frac{x_j^{max}-x_{ij}}{x_j^{max}-x_j^{min}}, \quad i=1,\ \ldots,\ n, \quad j\in \Omega_2, \qquad (2.2.4.3)$$

где $x_j^{min}=\min_{1\le i\le n}\{x_{ij}\}$, $x_j^{max}=\max_{1\le i\le n}\{x_{ij}\}$,

и z_{ij} нормированное значение атрибута x_{ij}.

Пусть идеальная альтернатива для нормализованной матрицы решений $Z=(z_{ij})_{nxm}$ может быть определена как $A^*=(z_1^*, z_2^*, \ldots, z_m^*)$, где $z_j^*=\max_{1\le i\le n}\{z_{ij}\}$ (j = 1, ..., m). Предположим, что весовые коэффициенты нескольких атрибутов $W=(\omega_1, \ldots, \omega_m)>0$, при этом имеется ограничение $\sum_{i=1}^{m}\sqrt{\omega_i}=b$ ($b>0$).

Ванг предложил следующую многоцелевую модель для определения весовых коэффициентов атрибутов [133]

$$\min \quad F(W^0)=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} f_i(W^0) \qquad (2.2.4.4)$$

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^{p} g(\omega_j)=\alpha & (2.2.4.5) \\ \omega_j\ge 0, \quad j=1,\ldots,p. & (2.2.4.6) \end{cases}$$

Очевидно, что такой идеальной альтернативой может стать тот вариант принятия решений, чьи нормализованные атрибуты имеют максимальные значения в выражении (2.2.4.1).

Процедура обоснования выбора наилучшей альтернативы состоит из трех этапов:

1. расчет относительных весов атрибутов,

2. расчет значений целевой функции,

3. ранжирование альтернатив.

Первые два этапа реализуются с помощью метода *средневзвешенных минимальных отклонениях*.

Расчет относительных весов критериев производится по формуле:

$$\widetilde{\omega}_j^* = d \cdot \frac{(1/\sum_{i=1}^{n}(z_j^* - z_{ij}))^2}{\sum_{j=1}^{p}(1/\sum_{i=1}^{n}(z_j^* - z_{ij}))^2}, \ \ j = 1, \dots, p, \qquad (2.2.4.7)$$

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); показатель

$$d = 1 - \sum_{j=p+1}^{m} \omega_j^*., \text{ i = 1, 2, ... , m} \qquad (2.2.4.8)$$

характеризуется уже известными весовыми показателями атрибутов, если они заданы, в противном случае *d* = 1.

Тип функции ограничения g может быть задан другой функцией, например, $g(\omega_j) = \ln \omega_j^*$, j = 1,…, p. Тогда ограничение (2.2.4.5) можно переписать в виде

$$\sum_{j=1}^{p} \ln \omega_j = a, \quad a < 0, \qquad (2.2.4.9)$$

где a < 0 является отрицательной константой. Так как $\frac{\partial g(\omega_j)}{\partial \omega_j} \cdot \frac{\partial^2 g(\omega_j)}{\partial^2 \omega_j} = -\omega_j^{-3} < 0$, такой вид функции g может также обеспечить минимизированное решение для модели (2.2.4.4) - (2.2.4.6) [133]. Решая систему уравнений (2.2.4.10) и (2.2.4.11), Ванг [133] привел нормализованные веса к выражению (2.2.4.12)

$$\frac{\partial g(\omega_j)}{\partial \omega_j} = \frac{1}{\omega_j} = \frac{1}{n\lambda} \sum_{i=1}^{n} (z_j^* - z_{ij}), \qquad j = 1, \dots, p, \qquad (2.2.4.10)$$

$$\sum_{j=1}^{p} \ln \omega_j = a \qquad (2.2.4.11)$$

$$\widetilde{\omega}_j^* = d \cdot \frac{1/\sum_{i=1}^{n}(z_j^* - z_{ij})}{\sum_{j=1}^{p}\left(1/\sum_{i=1}^{n}(z_j^* - z_{ij})\right)}, \ \ j = 1, \dots, p, \qquad (2.2.4.12)$$

где $d = 1 - \sum_{j=p+1}^{m} \omega_j^*$. Очевидно, что нормированные веса не имеют ничего общего с отрицательной константой a в (2.2.4.9). Таким образом, нет необходимости ее определять.

Такой подход для решения многоатрибутивных задач в сельском хозяйстве является несложным, универсальным и не имеет существенных ограничений, а потому вызывает практический интерес. Этот подход использовался в работах [51, 52, 110, 114, 117, 126, 131] для принятия решений в сельском хозяйстве в условиях неопределенности. Поэтому многоатрибутивный анализ представляется возможным и перспективным для практического решения некоторых задач в рамках поставленных в данной диссертационной работе целей. Как было отмечено в п.2.1, интерес в использовании многоатрибутивного анализа по схеме Ли – Ванга представляет для определения многокомпонентной сравнительной оценки степени кондиционности различных производственных партий семян яровых зерновых культур перед посевом.

2.2.5 Алгоритм построения логико-лингвистических моделей.

В данном разделе рассматривается метод, который также позволяет во многих случаях осуществлять нечеткую классификацию. Он появился благодаря трудам российских ученых Спесивцева А.В. и Дроздова А.В [33, 34].

В основе метода лежит идея: если человек принимает решение, то модель принятия решения уже существует в его сознании. Остается только по разработанному алгоритму произвести опрос эксперта для формализации этой модели в виде аналитического выражения.

Традиционные способы решения задач оценок состояния

технологического процесса или управления рисками предъявляют к используемой информации требования непременного приближения к реальности, четкости, однозначности, точности, полноты, непротиворечивости и др., но многие из этих требований выполнить практически невозможно. Если информация имеет неопределенный характер, то в полной мере нельзя воспользоваться моделями этой системы, опираясь на теорию подобия. Однако решения высококвалифицированными специалистами принимаются даже в такой ситуации, следовательно, необходимо разрабатывать и использовать модели рассуждений экспертов (лиц, принимающих решение) на естественном языке и стремиться к уменьшению неопределенности информации путем применения новых, в современной терминологии, интеллектуализированных методов.

Обеспечение надежности и достоверности получаемых результатов или выводов по экспериментальным данным в четкой информационной среде достигается применением *теории планирования экспериментов* [2, 62]. Однако в нечеткой информационной среде, каковой являются результаты экспертной оценки, применение *теории планирования эксперимента* нуждается в дополнительном обосновании, особенно в части адекватности получаемых уравнений экспериментальным данным.

Для обоснования применимости теории планирования эксперимента на лингвистические переменные (ЛП) были приняты исходные предложения [33]:

- поведение исследуемой системы описывается экспертом на естественном (или близком к нему) языке, что делает ЛП наиболее адекватным средством представления его знаний, а переход от словесных оценок к числовым не вызывает затруднений по любой из шкал;
- в основу мировосприятия человека заложена оппозиционная шкала. В оппозиционной шкале маркированы лишь концы шкалы, а середина соответствует нейтральному значению между концами

шкалы. Маркировка промежуточных значений достигается дальнейшим делением шкалы и таким образом эксперт ранжирует свои понятийные оценки;

- оппозиционная шкала из k значений ЛП является шкалой k-1 равнокажущихся интервалов, и ее деления отстоят друг от друга на психологическом континууме на равных интервалах и, следовательно, ошибки классификации значений ЛП равны друг другу;
- в силу доминирования у эксперта аналитического мышления, заключающегося в представлении входных переменных как независимых (эксперту бывает трудно определить степень их коррелируемости), применение методов теории планирования эксперимента наиболее естественным образом отвечает понятийной модели описываемого процесса, существующей в его сознании.

При работе с экспертом опрос планируют, т.е. задают эксперту значения входных ЛП. Тогда на основании [33, 34] к опросу эксперта можно подходить с точки зрения теории планирования эксперимента.

Следует отметить, что применение теории планирования эксперимента позволяет построить ортогональный план [62] цепочек причинно-следственных связей типа «ЕСЛИ ..., ТО ...», обладающий свойством ротатабельности. При этом ортогональность обусловливает независимость значений по каждой ЛП, облегчая тем самым работу эксперта.

Для получения явно выраженной тенденции методологически целесообразно по каждой из входных ЛП выбирать нечетное количество интервалов разбиения, так как это дает возможность оценки адекватности функции мнению эксперта в центре планирования.

Сказанное выше позволяет обосновать применение теории планирования экспериментов к ЛП. При этом синтез теории нечетких множеств в виде ЛП и теории планирования экспериментов делает

возможным формализовать модель знаний эксперта алгоритмически или в виде аналитической функции (полинома).

В основе логико-лингвистической модели на экспертных знаниях лежит идея, что опрос эксперта производится в соответствии с определенным планом, т.е. эксперту задают значения входных ЛП. Тогда на основании [33, 34] к опросу эксперта можно подходить с точки зрения теории планирования эксперимента, аппроксимируя результаты аналитической функцией вида:

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^{n} \beta_i X_i + \sum_{ju=1}^{n} \beta_{ju} X_j X_u, \quad \text{где } j \neq U. \qquad (2.2.5.1)$$

Рассмотрим порядок составления продукций, т.е. запланированных вопросов эксперту (то, что стоит в ЛП после ЕСЛИ). Набор значений a^u (u = 1, 2, …, p) называется планом опроса, а матрица

$$\overline{A} = \begin{pmatrix} a_{11}, & a_{21}, & \dots, & a_{n1} \\ a_{12}, & a_{22}, & \dots, & a_{n2} \\ \dots & \dots\dots\dots\dots & & \dots \\ a_{1p}, & a_{2p}, & \dots, & a_{np} \end{pmatrix}$$

- матрицей опроса. Тогда кодированной расчетной матрицей С плана опроса (в дальнейшем просто матрицей С) будем называть матрицу, элементы которой удовлетворяют следующим условиям:

$$C_{ij} = (C_{ij}^* - C_0)/S_j, \; j=1,2,\dots, n, \; i=1,2,\dots, p, \qquad (2.2.5.2)$$

где

$$C_0 = (C_{ij}^* + C_{nj}^*)/2 \qquad (2.2.5.3)$$

при условии, что $C_{1j} < C_{2j} < \dots < C_{nj}$.

Кодирование лингвистических переменных необходимо для представления всех переменных в едином стандартизированном масштабе в интервале [-1, +1]. Это обусловливает возможность сравнения коэффициентов полинома (2.2.5.1) между собой, а также выделения значений коэффициентов на фоне ошибки их определения. Коэффициенты полинома, находящиеся в пределах ошибки, в дальнейшем считают равными нулю и из рассмотрения исключают.

Порогом чувствительности экспертной оценки [34] справа

называется значение входной ЛП X_r, после которого $\forall Xi$ выполняется условие

$$Y_э = f(X_r) = f(X_i); \quad r < i \leq n, \quad \text{где } X_n = X_{max}, \qquad (2.2.5.4)$$

Порогом чувствительности экспертной оценки слева назовем значение входной ЛП x_i, после которого $\forall X_i$, выполняется условие

$$Y_э = f(X_l) = f(X_i); \quad 1 < i \leq l, \quad \text{где } X_n = X_{min}, \qquad (2.2.5.5)$$

$Y_э$ - минимальное или максимальное значение выходной ЛП Y.

При выполнении условия (2.2.5.5) правый конец шкалы с точки зрения выходной ЛП Y будет представляться множеством:

$$X_{max} = [X_r, X_{r+1}, \ldots, X_n].$$

Действительно, пусть X_r - порог чувствительности справа, такой что $F(X_r) = Y_{max}$.

Тогда с точки зрения выходной ЛП Y конец шкалы будет иметь значение:

$$X_{max} = \max [X_r, X_{r+1}, \ldots, X_n.] = [X_r, X_{r+1}, \ldots, X_n.] \qquad (2.2.5.6)$$

Для левого конца шкалы рассуждения аналогичны.

$$S = (X_r - X_l)/2, \qquad (2.2.5.7)$$

где X_l и X_r - соответственно левый и правый порог чувствительности.

Но по (2.2.5.1) интервал варьирования определяется как

$$S = (X_{max} - X_{min})/2, \qquad (2.2.5.8)$$

и согласно топологии выражение (2.2.5.8) является метрикой [34]. Таким образом, в соответствии с (2.2.5.2) все значения каждой ЛП переводятся в интервал [-1, +1].

Применение теории планирования эксперимента позволяет построить ортогональный план [62] цепочек причинно-следственных связей типа «ЕСЛИ ..., ТО ...», обладающий свойством ротатабельности. При этом ортогональность обусловливает независимость значений по каждой ЛП, облегчая тем самым работу эксперта. Ротатабельность композиционного плана дает равномерное «размазывание» информации по сфере [62], что хорошо коррелирует с интуитивными понятиями эксперта [33, 34].

Поскольку матрица С ортогональна и ее ранг равен числу неизвестных коэффициентов выражения (2.2.5.1), то оценки этих коэффициентов некоррелированы, определяются с минимальной ошибкой и являются несмещенными [33].

Алгоритм построения обобщенного параметра в виде прогностической модели показан на рис. 2.8.

В качестве пояснения к алгоритму построения модели отметим, что:

1) Определение факторного пространства включает в себя:

- определение максимально большего числа влияющих факторов;
- выделение существенно влияющих факторов;
- выбор линейно-независимых и управляемых факторов;
- определение границ оппозиционной шкалы включает в себя: определение количественной или качественной оценки нижней и верхней границ выбранного фактора - ЛП;
- определение количества делений (терм-множеств);
- разбиения шкалы и их названий;
- определение степени «размытости» - нечеткости понятия (определение α и β, значения терма а);

2) Подготовка матрицы опроса эксперта (продукции) выполняется согласно методам теории планирования экспериментов с учетом дробности полного факторного эксперимента (при этом количество обращений к эксперту = 2^n, где n - число факторов или 2^{n-p}, где p - степень дробности полного факторного эксперимента);

3) Кодирование факторов-ЛП заключается в преобразовании шкалы названий термов в метрику на интервале [-1,+1];

4) Расчет коэффициентов полинома заключается в переводе зависимых ЛП (Y) в четкую шкалу и выполнении традиционных действий с матрицей опроса, принятых в теории планирования эксперимента;

5) Оценка ошибки численного эксперимента первоначально заключается либо в сравнении значения свободного члена полинома b_0 с оценкой мнения

эксперта в центре планирования факторного пространства изучаемого явления, либо сравнением расчетных и фактических значений Y по экспериментальным данным;

6) Оценка значимости коэффициентов полинома заключается в выделении коэффициентов полинома, значение которых выше ошибки их определения (по t - критерию Стьюдента);

7) Оценка адекватности полинома со значимыми коэффициентами экспертной оценке изучаемого явления заключается в сопоставлении между собой расчетных значений по полиному и экспертных оценок изучаемого явления;

8) Оценка адекватности полученной модели изучаемому явлению заключается в сопоставлении:

- расчетных значений по полиному и фактических (экспериментальных, по литературным источникам и т.д.) значений традиционными статистическими методами (по F-критерию Фишера).

Применение данного метода позволяет строить математические модели в многомерных пространствах нечетких лингвистических переменных только на основе экспертных знаний при этом вся статистическая информация является независимой и может применяться для определения адекватности модели изучаемому явлению.

Метод является перспективным с точки зрения простоты его реализации, поскольку он не требует знаний соответствующих разделов математики и все рассуждения ведутся на профессиональном языке эксперта. При этом, в результате получается аналитическое выражение в виде нелинейной полиномиальной модели, описывающей изучаемые явления. Применение такого метода является целесообразным для решения сельскохозяйственных задач, поскольку они являются по своей сути слабоопределенными или нечеткими в смысле Заде [38, 136].

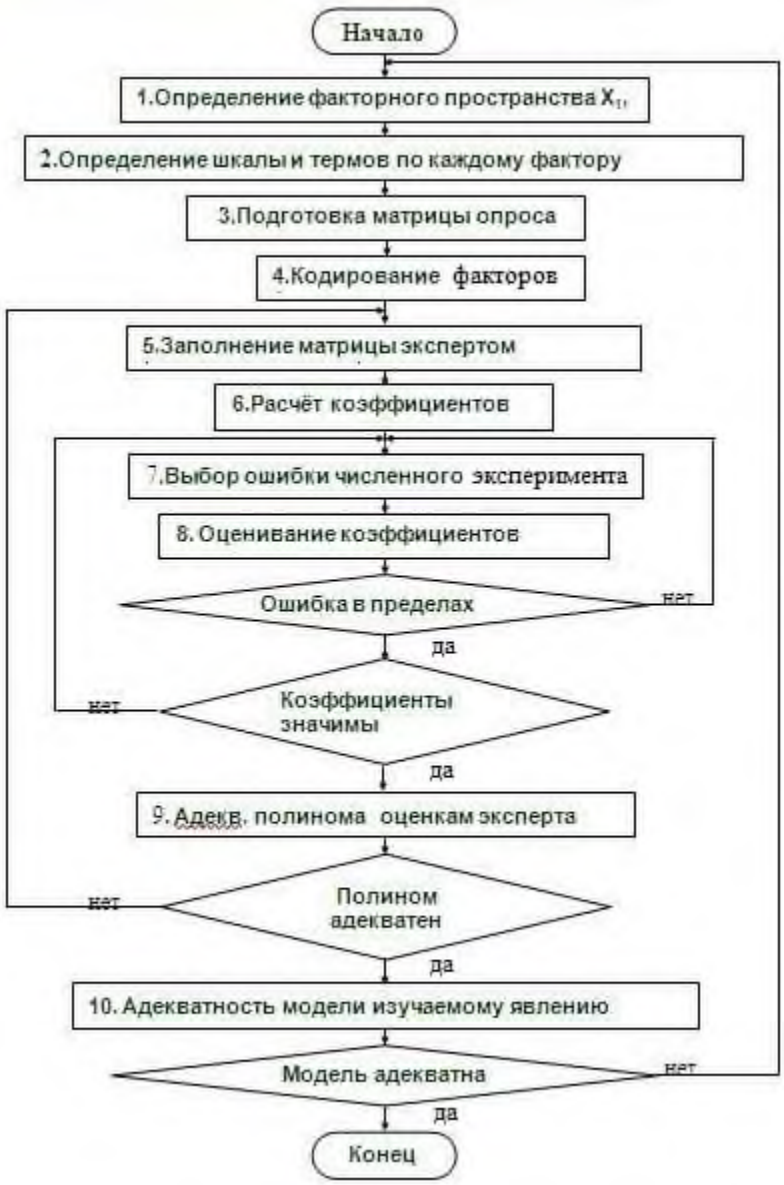


Рис.2.8 Алгоритм построения обобщенного параметра в виде математической модели

2.3 Выводы по главе 2.

В результате проведенного анализа возможных математических методов и подходов для решения задач в рамках целей диссертационной работы выделены наиболее подходящие для решения основных задач исследования. К ним относятся:

1) алгоритм *построения логико-лингвистических моделей* на экспертных знаниях, представляющий интерес для решения таких задач, как оценивание качественных показателей семян яровых зерновых культур на предмет

рисков снижения полевой всхожести, оценивания агроклиматических условий перед проведением сева, прогнозирование урожайности яровых зерновых культур, оценивания рисков потерь урожая зерновых культур перед началом посевных работ;

2) алгоритм *нечеткого вывода Мамдани*, который целесообразно использовать для оценивания условий проведения сева яровых зерновых культур с учетом прогнозируемой урожайности, рисков потерь урожая и выбранной нормы высева;

3) метод *многоатрибутивной сравнительной оценки по схеме Ли – Ванга*, который может быть использован для реализации многомодельного оценивания качественных показателей семян яровых зерновых культур на предмет рисков снижения полевой всхожести для повышения надежности и обоснованности принимаемых решений в сельскохозяйственном производстве.

Глава 3. Многокомпонентный анализ рисков потерь урожая и оптимизация норм высева семян яровых зерновых культур

Из материалов главы 1 следует, что риск потерь урожая яровых зерновых культур (ЯЗК) при выборе норм высева семян определяются такими ключевыми группами факторов, как выбранная культура возделывания, климат, качество почвы, качественные и сортовые показатели семенного материала перед посевом.

Определение норм высева всегда связано с риском потерь урожая ЯЗК. Поэтому на практике часто с целью минимизации рисков норму высева необоснованно сильно завышают.

Нами были выделены следующие основные группы факторов для определения риска потерь урожая зерновых культур:

x_1 – комплексный качественный показатель выбранной культуры возделывания яровых зерновых культур (КВ), определяемый экспертами (агрономами), 1 – «*Нормальный*» (хозяйственный), 2 – «*Высокоинтенсивный*», 3 – «*Высокоинтенсивный с элементами точного земледелия*»;

x_2 – комплексная оценка агроклиматических условий для проведения сева ЯЗК (АКУ), от 0 до 1;

x_3 – степень кондиционности семенного материала ЯЗК (СКСМ), от 0 до 1;

x_4 – сорт семян яровых зерновых культур (СС), 1 – «*Вторая репродукция*», 2 – «*Первая репродукция*», 3 – «*Элита*» или «*Суперэлита*»;

x_5 – Норма высева (НВ), млн. шт./га.

В качестве пояснения к выбранным группам факторов отметим:

1. Прежде, чем переходить к построению математических моделей для решения таких задач, как оценивание рисков потерь урожая яровых зерновых культур при выборе норм высева семян, прогнозирование урожайности зерновых культур, стоит дать краткое описание выделенных

агротехнологий (вариантов возделывания ЯЗК, показатель x_1), которые имели практическое применение в опыте, проведенном в Меньковской опытной станции Агрофизического НИИ [25].

Вариант «*хозяйственный*»: предпосевное внесение удобрений одной дозой: $N_{50}P_{50}K_{50}$ (кг/га действующего вещества); обработка гербицидом «Линтур».

Вариант «*высокоинтенсивный*»: предпосевное внесение удобрений одной дозой: $N_{110}P_{70}K_{110}$ (кг/га действующего вещества); обработка гербицидом «Линтур»; 2-х кратная обработка фунгицидом «Фалькон»; обработка инсектицидом «Карате-Зенон»; обработка регулятором роста «Це-Це-Це». По результатам почвенной, тканевой и листовой диагностик проводилось регулирование питания растений комплексным водорастворимым удобрением: 1-я подкормка «PolyFeed 19-19-19» (фенофаза – кущение-выход в трубку) – 3 кг/га; 2-я подкормка «PolyFeed 11-12-33+2» (фенофаза – колошение-цветение) – 5 кг/га.

Вариант «*высокоинтенсивный с элементами точного земледелия*»: предпосевное внесение удобрений проводилось дифференцированно (кроме фосфорных), с учетом данных поквадратного агрохиманализа: $N_{70+D}P_{70}K_{70+D}$(кг/га действующего вещества), где D – доза внесенная точным способом; обработка гербицидом «Линтур»; 2-х кратная обработка фунгицидом «Фалькон»; обработка инсектицидом «Карате-Зенон»; обработка регулятором роста «Це-Це-Це». По результатам почвенной, тканевой и листовой диагностик проводилось регулирование питания растений комплексным водорастворимым удобрением дифференцированно, с помощью азотного сенсора Hydro-N-sensor (фирма Yara, Норвегия): 1-я подкормка «PolyFeed 19-19-19» (фенофаза – кущение-выход в трубку) – 3 кг/га; 2-я подкормка «PolyFeed 11-12-33+2» (фенофаза – колошение-цветение) – 5 кг/га.

2. Комплексная оценка АКУ для проведения сева ЯЗК (показатель x_2), в свою очередь, определяется такими входными показателями, как весовая

влажность почвы перед посевом (ВВПП), прогноз вероятности осадков декадный (ПВО), прогноз осадков декадный (ПО), температура почвы перед посевом (ТППП), прогноз температуры воздуха декадный (ПТВ), вид почвы (ВП, число от 1 до 13, 1(Ч)-чернозем, 2(К)-каштановая, 3(ДК) дерново-карбонатный, 4(СЛ)- серая лесная, 5(БЛ) – бурая лесная, 6(Кр)-краснозем, 7(ДП)-дерново-подзолистая, 8(СП)- сильно подзолистая, 9(Т) – тундровая, 10(Г)-горная, 11(А)-арктическая, 12(Б)-болотная, 13(З)-засоленная), разновидность почвы (РП, число от 1 до 9, 1(ПР)- песок рыхлый, 2(ПС)-песок связный, 3(С) - супесь, 4(СЛ) - суглинок легкий, 5(СС) – суглинок средний, 6(СТ) – суглинок тяжелый, 7(ГЛ)-глина легкая, 8(ГС)-глина средняя, 9(ГТ)- глина тяжелая), глубина заделки семян (ГЗС)).

3. На оценку степени кондиционности семенного материала ЯЗК (показатель x_3) существенное влияние оказывает сельскохозяйственная неоднородность производственных партий семян, характеристика которой приведена в главе 1. Из нее следует, что неоднородность семян складывается в результате множества внешних и внутренних факторов. Оценка степени кондиционности семенного материала ЯЗК учитывает набор таких важных биофизических показателей, как масса 1000 семян (г), чистота семян (сортовая, %), чистота семян (сорняки, шт/кг), всхожесть семян (%), показатель внешней и внутренней травмированности (%), микробиом семени (%).

4. Сорт семян яровых зерновых культур (показатель x_4). В сельскохозяйственном производстве различают сортовые качества семян. Под сортовыми качествами семян понимают их принадлежность к конкретному сорту, сортовую чистоту, репродукцию, типичность, определяемые по результатам полевой апробации. Посевы, признанные сортовыми, относят к определенной категории сортовой чистоты.

Семена нового сорта через несколько пересевов снижают свои качества. Поэтому в хозяйствах проводят сортообновление — замену сортовых семян на семена тех же сортов с лучшим качеством, более высоких

репродукций. Наилучшие по своим качествам (наивысшей сортовой чистоты, для зерновых не менее 99,8%) семена называют элитой. Последовательность пересевов, начиная от посева семян элиты, считают репродукцией семян. От урожая семян элиты получают семена первой репродукции, от них семена второй репродукции и т. д.

Таким образом, риск потерь урожая ЯЗК определяется множеством показателей, некоторые из них поддаются регулированию, например, агроном-практик (лицо принимающее решение) может с целью снижения риска выбрать соответствующую норму высева или культуру возделывания.

Риск потерь урожая ЯЗК при выборе норм высева семян может быть достоверно определен с использованием достаточно большого количества показателей с применением моделей нечеткой логики, построенных на основе знаний и опыта экспертов-агрономов.

В приложении 8 представлены результаты опроса экспертов (агрономов), которые позволяют убедиться в том, что, несмотря на значительно высокое количество приведенных факторов, агрономы на основании своего опыта и знаний способны довольно точно оценивать риски потерь урожая зерновых культур и, соответственно, в большинстве случаев принимать верные решения.

3.1 Разработка алгоритма многоатрибутивного анализа по схеме Ли – Ванга.

3.1.1 Принципы построения алгоритма многоатрибутивногоного анализа вариантов предпосевного состояния семян яровых зерновых культур.

В общем случае, в процессе принятия решений могут быть выделены три основные фазы: размышление (осознание проблемы), выработка альтернатив и обоснование выбора наилучшей альтернативы. При этом в

большинстве реальных случаев принятие решений носит многокритериальный характер. Процессу принятия решений свойственна неопределенность, которая может трактоваться с помощью теории нечетких множеств.

Принципы построения алгоритма многоатрибутивного анализа вариантов технологии могут быть сформулированы следующим образом. Исходной процедурой должна быть процедура осознания проблемы, выработка альтернатив и критериев. Эта процедура завершатся построением матрицы решений, в которой в столбцах даются значения критериев, а в строках характеристики альтернатив.

Следующей процедурой является многоатрибутивный анализ сформулированных альтернатив. В основу многоатрибутивного анализа положено допущение, что существует идеальная альтернатива. Идеальная альтернатива – это альтернатива, при которой все количественные и качественные критерии имеют максимальные значения. Предполагается, что наилучшим вариантом принятия решений будет тот, который располагается ближе всего к идеальной альтернативе.

3.1.2 Обоснование выбора наилучшей альтернативы.

Обоснование выбора наилучшей альтернативы состоит из трех этапов:

- нормализация критериев;
- построением матрицы решений с использованием нормализованных критериев;
- анализ вариантов предпосевного состояния семян яровых зерновых культур и выбор наилучшей альтернативы.

Нормализация критериев осуществляется с помощью нечетких индикаторов. Нечеткий индикатор – это число в диапазоне [0,1], которое характеризирует оценку показателя использующегося в качестве критерия.

В основу нечеткого индикатора положена оценка эксперта, которая моделируется функцией принадлежности, при этом носителем выступает допустимое множество значений анализируемого показателя.

В общем случае, чтобы описать цели (факторы, атрибуты) могут применяться различные модели функции принадлежности, например, такие как кусочно-возрастающая (рис. 3.1), кусочно-убывающая (рис. 3.2), треугольная (рис. 3.3) или трапециевидная (рис. 3.4).

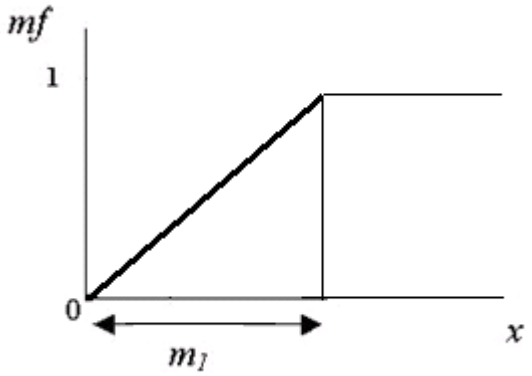


Рис. 3.1 Кусочно-возрастающая функция принадлежности цели (цель может характеризовать выгоду, т.е. чем больше значение аргумента в возрастающей части функции, тем лучше).

После того, как нормализация критериев будет осуществлена, матрица решений трансформируется в нормализованную матрицу решений.

Заключительная процедура алгоритма состоит в визуализации результатов многоатрибутивного анализа.

Блок-схема, иллюстрирующая работу алгоритма, показана на рис. 3.5. Процедура расчета осуществляется в следующей последовательности:

- Ввод и обработка входных данных,
- Построением матрицы решений,
- Построением нормализованной матрицы решений,
- Расчет относительных весов критериев,
- Расчет значений целевой функции,
- Ранжирование альтернатив.

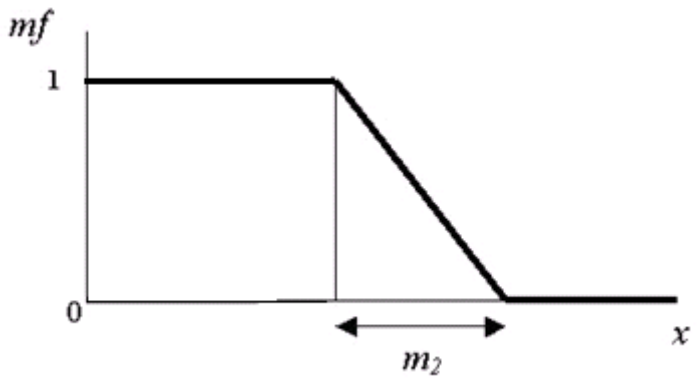


Рис. 3.2 Кусочно-убывающая функция принадлежности цели (цель может характеризовать стоимость, т.е. чем больше значение аргумента в убывающей части функции, тем хуже).

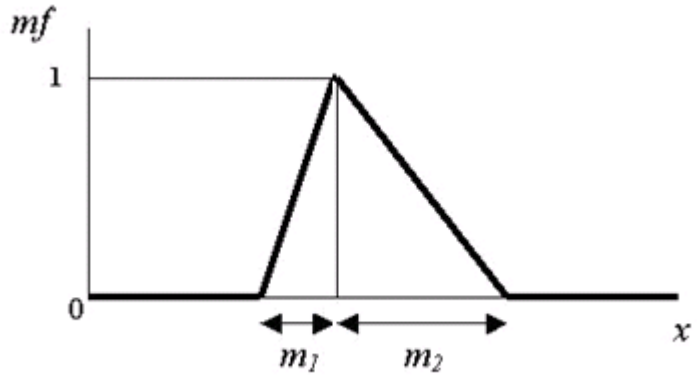


Рис. 3.3 Треугольная функция принадлежности цели (цель описывается фиксированной нечеткой величиной).

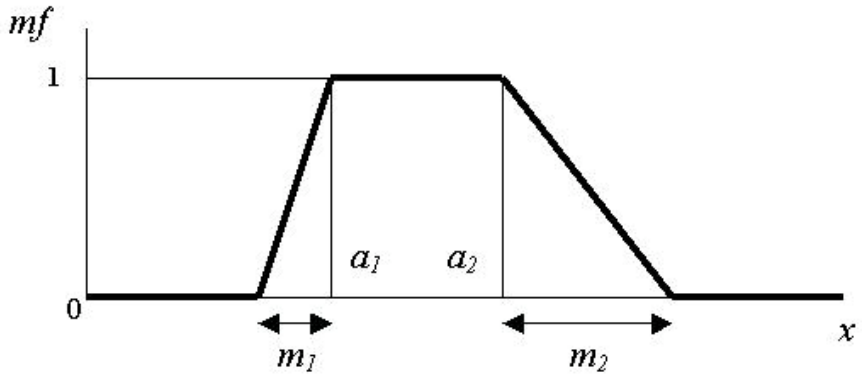


Рис. 3.4 Трапециевидная функция принадлежности цели (цель характеризуется нечетким интервалом).

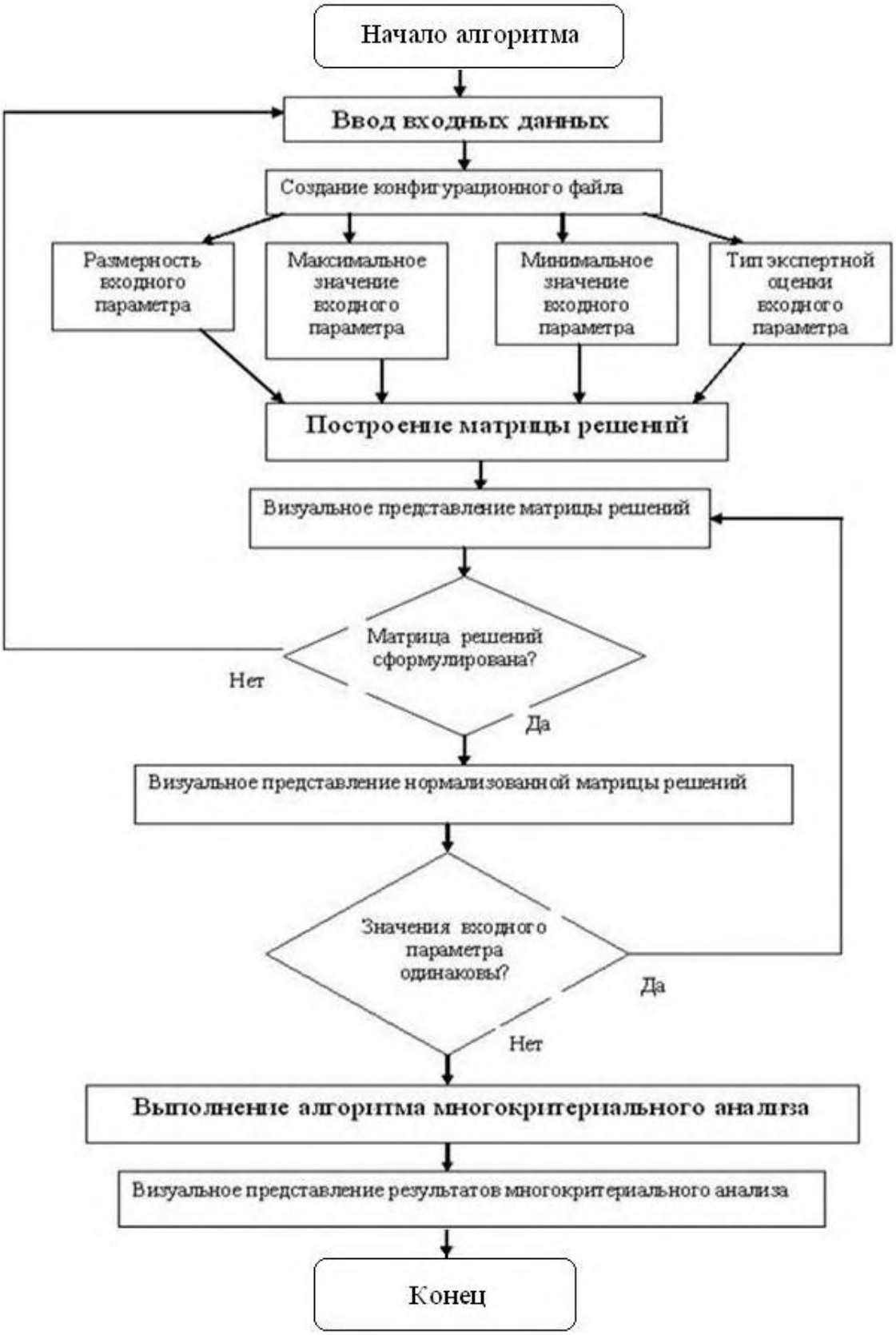


Рис. 3.5. Блок-схема, иллюстрирующая работу алгоритма.

3.1.3 Компьютерная программа для многоатрибутивного анализа предпосевного состояния семян яровых зерновых культур.

Для практического использования методологии многоатрибутивного анализа предпосевного состояния семян яровых зерновых культур была разработана компьютерная программа. Она была создана с использованием технологии Java. Входными данными являются качественные и сортовые показатели семян яровых зерновых культур. Выходными данными являются результаты многоатрибутивного анализа сформулированных альтернатив. Данная «программа» генерирует файл с входными/выходными данными в html формате. Многие операционные системы (Microsoft Windows XP SP2, Microsoft Windows 2003 SP2, Microsoft Windows Vista) могут быть использованы для этого прототипа программного обеспечения. Созданная «программа» может применяться на всех платформах, которые поддерживаются Java технологией.

Посредством данного программного обеспечения агроном без труда сможет анализировать различные сельскохозяйственные технологии и выбирать лучшие.

Концепция программного продукта. Концепция программы многоатрибутивной оценки предпосевного состояния семян яровой пшеницы предусматривала применение объектно-ориентированных технологий программирования, а также - использование шаблонных методов. Шаблонные методы - один из фундаментальных приемов повторного использования кода. Они особенно важны в библиотеках классов, поскольку предоставляют возможность вынести общее поведение в библиотечные классы. Шаблонные методы приводят к инвертированной структуре кода. В данном случае это означает, что родительский класс вызывает операции подкласса, а не наоборот.

В программном продукте использованы следующие шаблоны:

- Шаблон *Стратегия* (Strategy), который позволяет использовать различные бизнес-правила или алгоритмы в зависимости от контекста.
- Шаблон *декоратор (*decorator), который предназначен для динамического подключения к объекту дополнительных обязательств.
- Порождающие шаблоны (Creational patterns) - шаблоны проектирования, которые абстрагируют процесс инстанцирования. Они позволяют сделать систему независимой от способа создания, композиции и представления объектов. В частности, использованы шаблоны фабричный метод (Factory Method) и одиночка (Singleton).

Состав программного продукта. В основе программного продукта положена система Model-view-controller (MVC, «Модель-представление-поведение»), в которой модель данных приложения, пользовательский интерфейс и управляющая логика разделены на три отдельных компонента, так, что модификация одного из компонентов оказывает минимальное воздействие на другие компоненты (http://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=Model-View-Controller&redirect=no). Шаблон MVC позволяет разделить данные, представление и обработку действий пользователя на три отдельных компонента:

1. Модель (Model). Модель предоставляет данные (обычно для View), а также реагирует на запросы (обычно от контролера), изменяя свое состояние.
2. Представление (View). Отвечает за отображение информации (пользовательский интерфейс).
3. Поведение (Controller). Интерпретирует данные, введенные пользователем, и информирует модель и представление о необходимости соответствующей реакции.

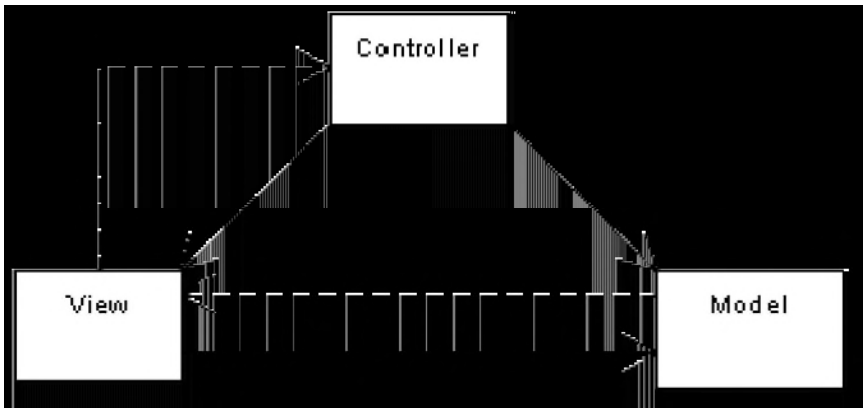


Рис. 3.6. Блок-схема.

Важно отметить, что как представление, так и поведение зависят от модели. Однако модель не зависит ни от представления, ни от поведения. Это одно из ключевых достоинств подобного разделения. Оно позволяет строить модель независимо от визуального представления, а также создавать несколько различных представлений для одной модели.

Интерфейс пользователя. Программа предоставляет пользователям доступ к процессу анализа посредством окон активности. Окно активности представляет собой диалоговую панель, на которой расположены: а) заголовок с описанием выполняемого действия, б) кнопки управления и в) текстовые приглашения пользователя к действию. Окна активности (интерфейсы пользователя) представлены на рис. 3.7-3.10.

Практическое применение созданной программы дается в п.3.1.4 в настоящей главе при сравнении предпосевного состояния семян ЯЗК для различных округов РФ за 2012 год, а также в рамках многомодельного анализа результаты оценивания рисков снижения полевой всхожести семян ЯЗК представлены в разделе 4.4 главы 4 (апробация) в таблицах 28, 30.

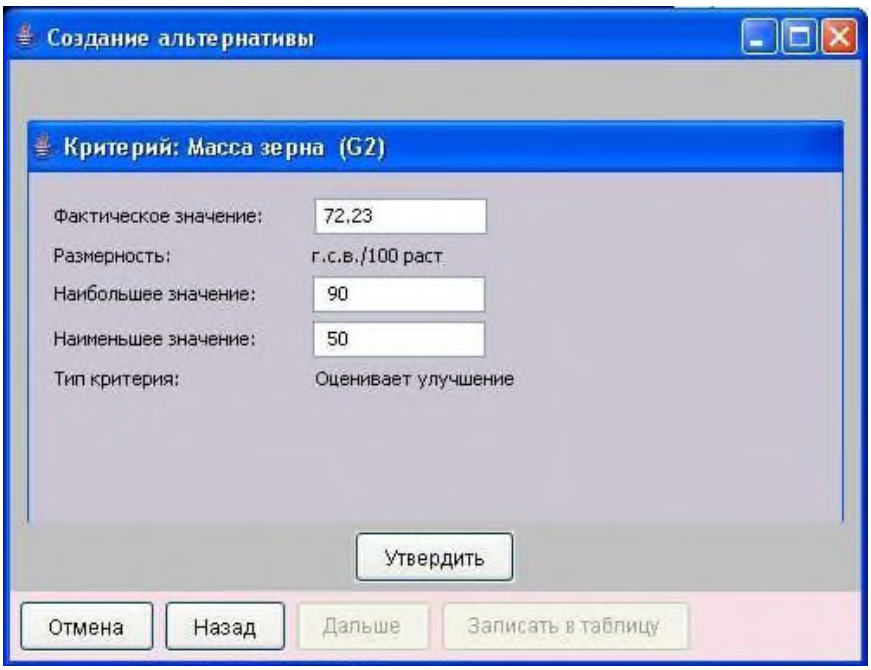


Рис. 3.7. Интерфейс пользователя, предназначенный для ввода числовых данных

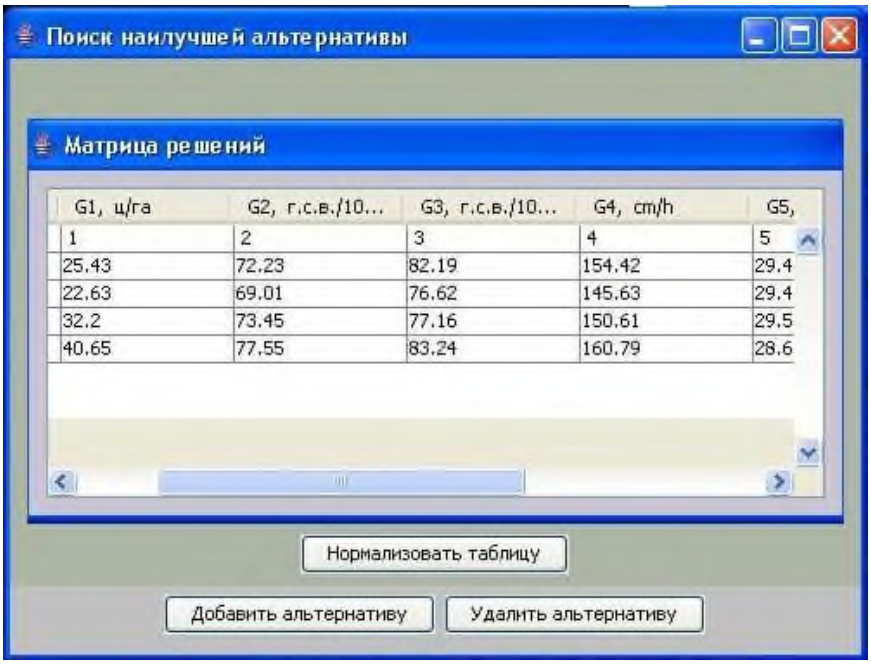


Рис. 3.8. Интерфейс пользователя, предназначенный для демонстрации матрицы решений

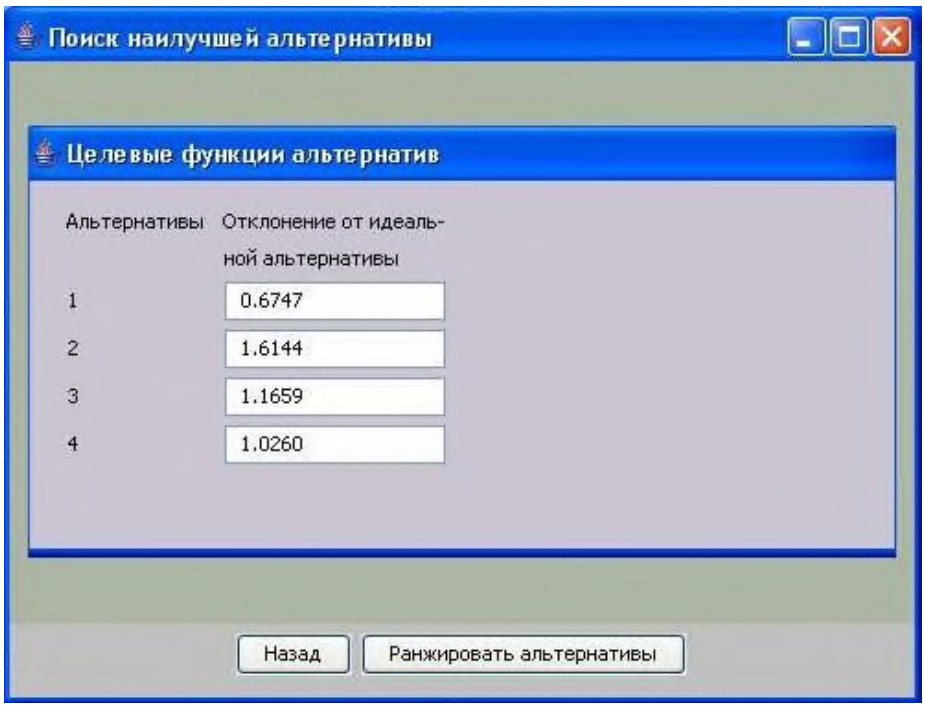


Рис. 3.9. Интерфейс пользователя, предназначенный для демонстрации значений целевой функции.

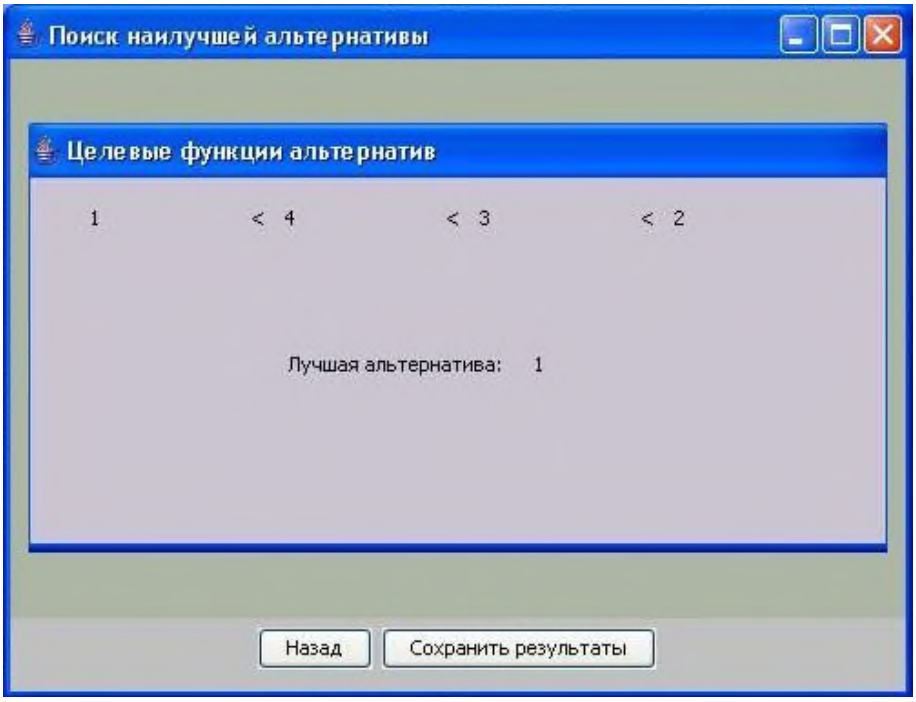


Рис. 3.10. Интерфейс пользователя, предназначенный для демонстрации результатов ранжирования вариантов сельскохозяйственной технологии

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2009615288

Программа многокритериальной оценки агротехнологий

Правообладатель(ли): ***Государственное научное учреждение ордена Трудового Красного Знамени Агрофизический научно-исследовательский институт Российской академии сельскохозяйственных наук (ГНУ АФИ Россельхозакадемии) (RU)***

Автор(ы): ***Куртенер Дмитрий Александрович, Ермаков Роман Николаевич, Швецова Елена Дмитриевна (RU)***

Заявка № **2009614096**

Дата поступления **27 июля 2009 г.**

Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ

24 сентября 2009 г.

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам

Б.П. Симонов

Рис. 3.11 Свидетельство о государственной регистрации компьютерной программы.

.

3.1.4 Численный пример многоатрибутивного анализа предпосевного состояния семян яровых зерновых культур.

Оценка предпосевного состояния семян яровых зерновых культур на основе биофизических характеристик является важным этапом в учете различных рисков при проведении сева.

Рассмотрим пример использования созданной компьютерной программы для оценки предпосевного состояния семян яровых зерновых и зернобобовых культур в различных округах РФ на дату 01.03.2012 г. для ранжирования наиболее и наименее подготовленных к процессу проведения сева, а также для классификации анализируемых условий проведения сева по данным филиалов ФГБУ «Россельхозцентр. Предпосевное состояние семян основывается на сочетании процента кондиционных и некондиционных (по засоренности, по всхожести, по влажности, по заселенности вредителями) семян к общему числу проверенных.

Сравнение предпосевного состояния семян яровых зерновых и зернобобовых культур обычно производится путем сопоставления различных показателей (масса 1000 семян, сортовая чистота семян, всхожесть семян, показатель внешней и внутренней травмированности, микробиом семени и т. д.).

Подготовка исходных данных для проведения расчетов. Представленный в п.3.1.3 прототип программного обеспечения, позволяющий провести многоатрибутивный анализ, был применен для анализа предпосевного состояния семян, основанного на комбинации процента кондиционных и некондиционных (по засоренности, по всхожести, по влажности, по заселенности вредителями) семян к общему числу проверенных. Используя экспериментальные данные филиалов ФГБУ «Россельхозцентр» (2012 год), представленные в приложении 2, были сформулированы 7 вариантов анализируемых предпосевных состояний семян

для различных округов РФ. Эти варианты характеризуются следующими показателями:

- Процент некондиционных семян к проверенным по засоренности;
- Процент некондиционных семян к проверенным по всхожести;
- Процент некондиционных семян к проверенным по влажности;
- Процент некондиционных семян к проверенным по заселенности вредителями;
- Процент кондиционных семян.

По данным филиалов ФГБУ «Россельхозцентр» (2012) нами была построена матрица решений (табл. 3.1).

Анализ проводится в восьми вариантах.

Опыт №1. Оценка альтернатив по качественным и сортовым показателям, электронная таблица (Excel) описания матрицы решений показана на рис.3.12, матрица решений для опыта №1 в виде электронной таблиц (Excel) приняла вид, как показано на рис.3.14 (четыре атрибута), расчет нормализованной матрицы решений происходит по формулам (3.1.4.1) и (3.1.4.2), оптимальные веса критериев вычисляются с использованием выражения (2.2.4.7), представленного в п.2.2.4 главы 2.

Опыт №2. Оценка альтернатив по качественным и сортовым показателям, электронная таблица (Excel) описания матрицы решений показана на рис.3.12, матрица решений в электронном виде (таблица Excel) представлена на рис.3.14 (с четырьмя атрибутами), расчет нормализованной матрицы решений происходит по формулам (3.1.4.1) и (3.1.4.2), оптимальные веса критериев вычисляются с использованием выражения (2.2.4.12), см. п.2.2.4 главы 2.

Опыт №3. Оценка альтернатив по качественным и сортовым показателям, электронная таблица (Excel) описания матрицы решений показана на рис.3.12, матрица решений в виде электронной таблицы (Excel) приняла вид, как показано на рис.3.14 (четыре атрибута), для расчета нормализованной

матрицы решений применяются формулы (2.2.4.2) и (2.2.4.3) см п.2.2.4 главы 2, оптимальные веса критериев вычисляются с использованием выражения (2.2.4.7).

Опыт №4. Оценка альтернатив по качественным и сортовым показателям, электронная таблица (Excel) описания матрицы решений показана на рис.3.12, матрица решений в электронном виде (таблица Excel) представлена на рис.3.14 (с четырьмя атрибутами), расчет нормализованной матрицы решений происходит по формулам (2.2.4.2) и (2.2.4.3) см п.2.2.4 главы 2, оптимальные веса критериев вычисляются с использованием выражения (2.2.4.12).

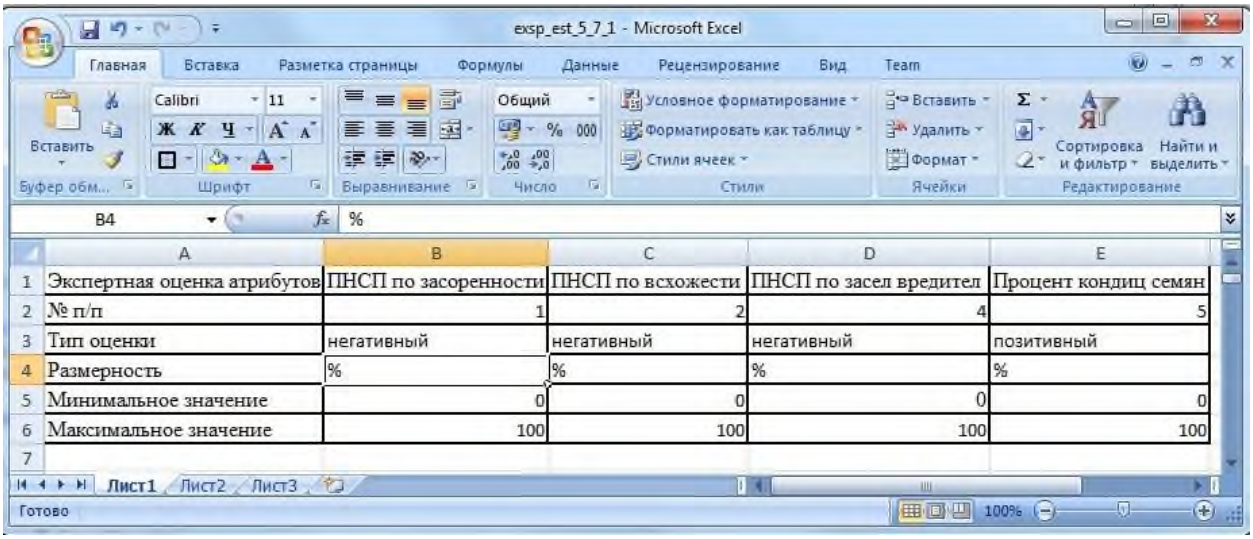
Опыт №5. Оценка альтернатив, учитывая не только качественные и сортовые показатели, но и процент некондиционных семян к проверенным по уровню влажности, электронная таблица (Excel) описания матрицы решений показана на рис.3.13, матрица решений для опыта №5 в виде электронной таблицы (Excel) приняла вид, как показано на рис.3.15 (пять атрибутов), расчет нормализованной матрицы решений происходит по формулам (3.1.4.1) и (3.1.4.2), оптимальные веса критериев вычисляются с использованием выражения (2.2.4.7), представленного в п.2.2.4 главы 2.

Опыт №6. Оценка альтернатив, учитывая не только качественные и сортовые показатели, но и процент некондиционных семян к проверенным по уровню влажности, электронная таблица (Excel) описания матрицы решений показана на рис.3.13, матрица решений в электронном виде (таблица Excel) представлена на рис.3.15 (пять атрибутов), расчет нормализованной матрицы решений происходит по формулам (3.1.4.1) и (3.1.4.2), оптимальные веса критериев вычисляются с использованием выражения (2.2.4.12), см. п.2.2.4 главы 2.

Опыт №7. Оценка альтернатив, учитывая не только качественные и сортовые показатели, но и процент некондиционных семян к проверенным по уровню

влажности, электронная таблица (Excel) описания матрицы решений показана на рис.3.13, матрица решений в виде электронной таблицы (Excel) приняла вид, как показано на рис.3.15 (пять атрибутов), для расчета нормализованной матрицы решений применяются формулы (2.2.4.2) и (2.2.4.3), см п.2.2.4 главы 2, оптимальные веса критериев вычисляются с использованием выражения (2.2.4.7).

Опыт №8. Оценка альтернатив, учитывая не только качественные и сортовые показатели, но и процент некондиционных семян к проверенным по уровню влажности, электронная таблица (Excel) описания матрицы решений показана на рис.3.13, матрица решений в электронном виде (таблица Excel) представлена на рис.3.15 (пять атрибутов), расчет нормализованной матрицы решений происходит по формулам (2.2.4.2) и (2.2.4.3) см п.2.2.4 главы 2, оптимальные веса критериев вычисляются с использованием выражения (2.2.4.12).

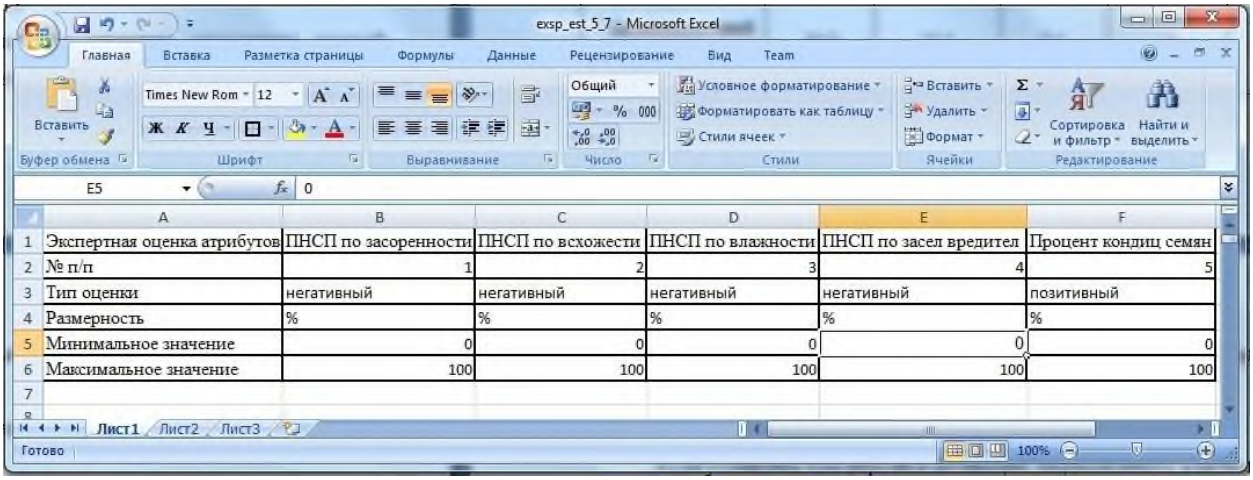


	A	B	C	D	E
1	Экспертная оценка атрибутов	ПНСП по засоренности	ПНСП по всхожести	ПНСП по засел вредител	Процент кондиц семян
2	№ п/п	1	2	4	5
3	Тип оценки	негативный	негативный	негативный	позитивный
4	Размерность	%	%	%	%
5	Минимальное значение	0	0	0	0
6	Максимальное значение	100	100	100	100
7					

Рис.3.12 Электронная таблица (Excel) описания матриц решений для опытов №1-4

Т а б л и ц а 3.1 **Варианты реализации анализируемого сравнения предпосевного состояния семян**

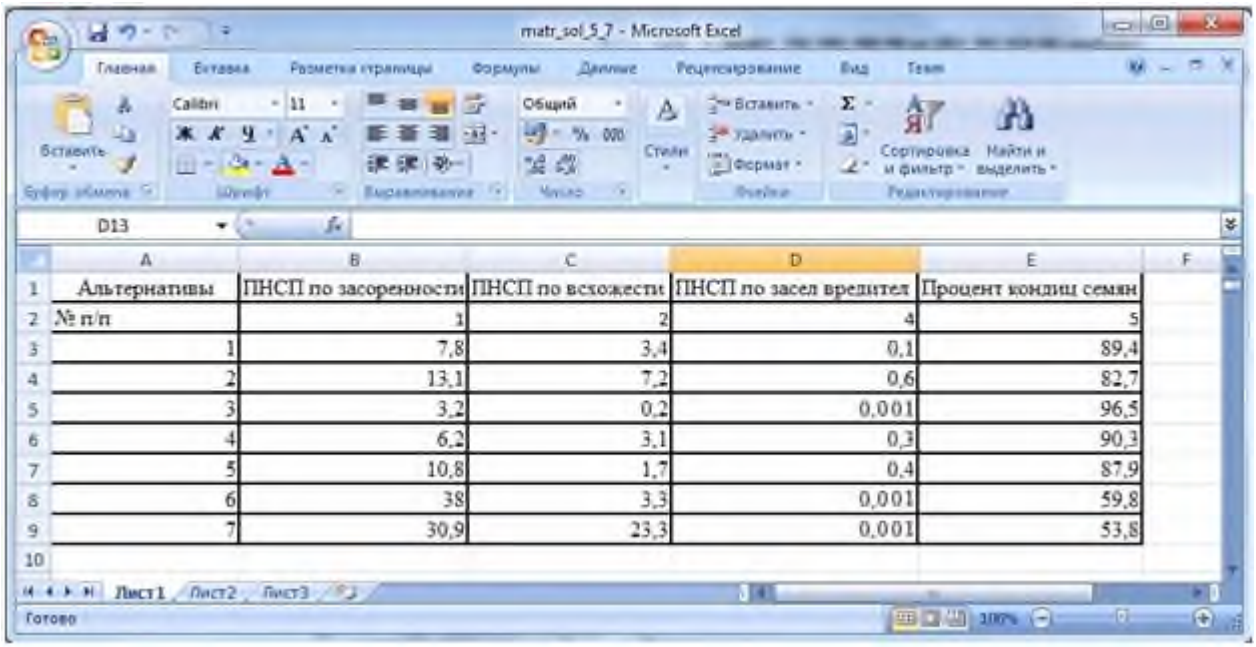
Альтернативы	Процент некондиционных семян к проверенным (%)				Процент кондиционных семян (всего)
	по засоренности	по всхожести	по влажности	по заселенности вредителями	
1(центральный округ)	7.8	3.4	0.3	0.1	89.4
2(северо-западный округ)	13.1	7.2	0.5	0.6	82.7
3 (южный округ)	3.2	0.2	0.1	0.001	96.5
4 (северо-кавказский округ)	6.2	3.1	0.001	0.3	90.3
5 (приволжский округ)	10.8	1.7	0.1	0.4	87.9
6 (уральский округ)	38	3.3	3.3	0.001	59.8
7 (дальневосточный округ)	30.9	23.3	0.5	0.001	53.8



	A	B	C	D	E	F
1	Экспертная оценка атрибутов	ПНСП по засоренности	ПНСП по всхожести	ПНСП по влажности	ПНСП по засел вредител	Процент кондиц семян
2	№ п/п	1	2	3	4	5
3	Тип оценки	негативный	негативный	негативный	негативный	позитивный
4	Размерность	%	%	%	%	%
5	Минимальное значение	0	0	0	0	0
6	Максимальное значение	100	100	100	100	100
7						

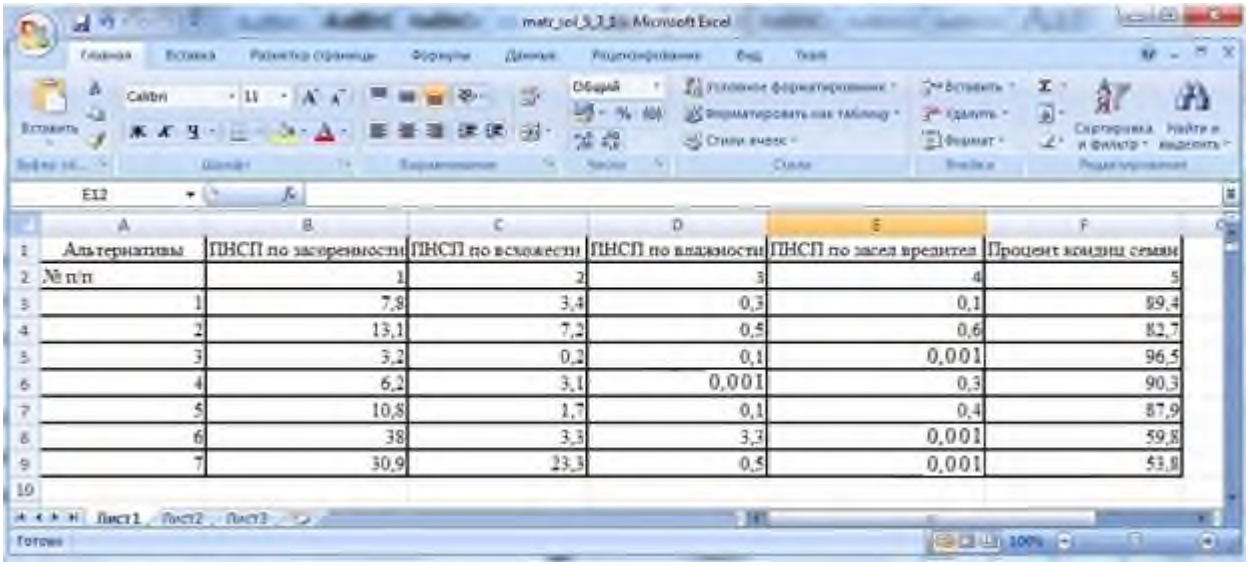
Рис.3.13 Электронная таблица (Excel) описания матриц решений для опытов №5-8

Матрица решений для опытов №1-4 и №5-8 в виде электронных таблиц (Excel) приняли вид как показано на рис.3.14 и рис.3.15 соответственно.



Альтернативы	ПНСП по засоренности	ПНСП по всхожести	ПНСП по засел вредител	Процент кондиц семян
№ п/п	1	2	4	5
1	7,8	3,4	0,1	89,4
2	13,1	7,2	0,6	82,7
3	3,2	0,2	0,001	96,5
4	6,2	3,1	0,3	90,3
5	10,8	1,7	0,4	87,9
6	38	3,3	0,001	59,8
7	30,9	23,3	0,001	53,8

Рис.3.14 Матрица решений в электронной таблице (Excel) для опытов №1-4



Альтернативы	ПНСП по засоренности	ПНСП по всхожести	ПНСП по влажности	ПНСП по засел вредител	Процент кондиц семян
№ п/п	1	2	3	4	5
1	7,8	3,4	0,3	0,1	89,4
2	13,1	7,2	0,5	0,6	82,7
3	3,2	0,2	0,1	0,001	96,5
4	6,2	3,1	0,001	0,3	90,3
5	10,8	1,7	0,1	0,4	87,9
6	38	3,3	3,3	0,001	59,8
7	30,9	23,3	0,5	0,001	53,8

Рис.3.15 Матрица решений в электронной таблице (Excel) для опытов №5-8

Сравнительная оценка предпосевного состояния семян яровых зерновых и зернобобовых культур для различных округов РФ за 2012 год. Для того чтобы выполнить расчеты и получить сравнительные оценки предпосевного состояния семян яровых зерновых и зернобобовых культур

требуется воспользоваться предложенной в методике сравнительного анализа программой многокритериальной оценки. Но для этого нужно произвести запуск программы.

Если установка trial-версии и активация лицензионного ключа прошли успешно, то для запуска программы требуется найти на рабочем столе ярлык, показанный на рис.3.16, и кликнуть по нему два раза правой кнопкой мышки.

Рис.3.16 Ярлык программы многокритериальной оценки агротехнологий на рабочем столе

После запуска программы для проведения расчета требуется выбрать подготовленные для расчета исходные файлы .xml или .xls(x) форматов.

Мы подготовили файлы в .xls-формате. Чтобы выбрать эти файлы воспользуемся меню "*Файл-Загрузить данные-MS Excel*", как показано на рис.3.17.

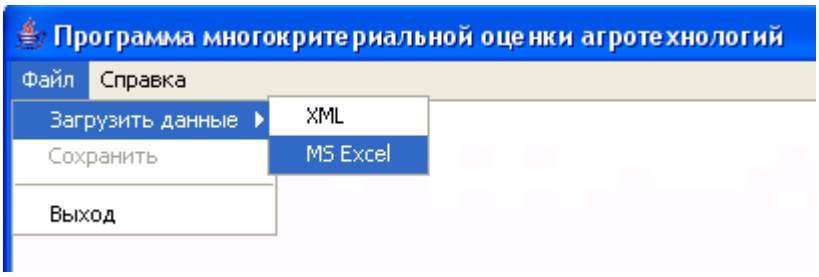


Рис.3.17 Выбор пункта меню "*Файл-Загрузить данные-MS Excel*"

Появится диалог - "*Загрузка данных из MS Excel документа*", показанный на рис.3.18. Этот диалог позволяет пользователю задать матрицу решений и файл описания в xls-формате, а также возможность сохранить исходные данные в xml- формате, чтобы в дальнейшем работать уже с ним.

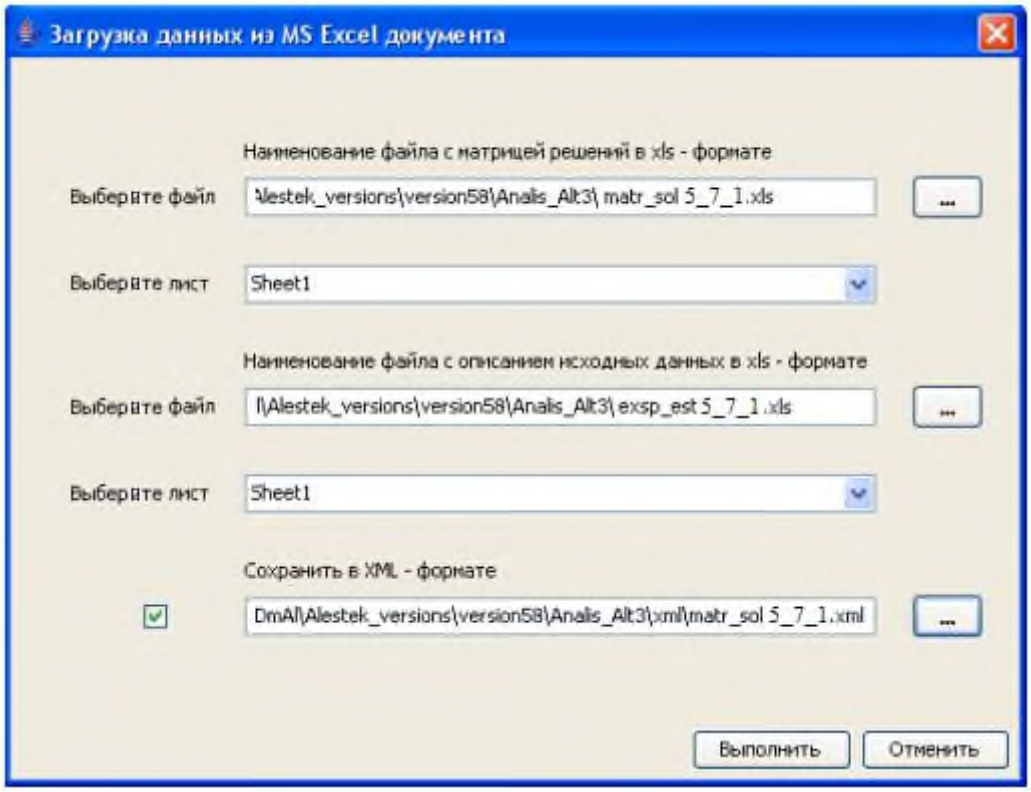


Рис.3.18 Загрузка данных из MS Excel документа

После загрузки исходных данных программа многокритериальной оценки агротехнологий автоматически производит расчет целевых функций альтернатив, ранжирует альтернативы и определяет лучшую альтернативу. Результаты расчетов, включая и промежуточные, можно увидеть в соответствующих окнах. Наибольший интерес представляют окна:

- Матрица решений (см. рис. 3.8 п.3.1.3), окно позволяет убедиться, что исходные данные были правильно импортированы программой;

- Целевые функции альтернатив, пример диалогового окна представлен на рис.3.9 п.3.1.3, позволяют визуально сравнивать альтернативы. Наилучшей альтернативой считается та, у которой целевая функция имеет наименьшее значение;

- Ранжирование альтернатив, пример окна показан на рис.3.10 п.3.1.3, ранжирует альтернативы от худшей слева, до лучшей справа.

Нормализация матрицы решений. Пусть $X = (x_{ij})_{m \times n}$ обозначает матрицу принятия решений, где x_{ij} является значением i-того атрибута для j-

той альтернативы. Эта матрица принятия решений может быть преобразована в нормализованную матрицу принятия решений:

$Z = (z_{ij})_{nxm}$..

Тогда для нормализации матрицы требуется выполнить следующие шаги.

1. Если i-й атрибут матрицы решений является *позитивным*, например, характеризует выгоду (т.е. при равенстве значений других атрибутов лучшей считается та альтернатива, значение i-го атрибута которой выше), то для дальнейшего нормирования значений альтернатив i-го атрибута матрицы решений необходимо найти максимальное значение $x_j^{max} = \max_{1 \le i \le n} \{x_{ij}\}$. В противном случае, когда i-й атрибут матрицы решений *негативный*, требуется найти минимальное значение $x_j^{min} = \min_{1 \le i \le n}\{x_{ij}\}$.

2. Если i-й атрибут матрицы решений является *позитивным*, то нормирование атрибута z_{ij}, согласно рекомендации Ванга[133], осуществляется с использованием выражения (2.2.4.2), см. п.2.2.4 главы 2. В противном случае, когда i-й атрибут матрицы решений *негативный*, для нормирования атрибута z_{ij} Ванг предлагает применять выражение (2.2.4.3). Однако, на наш взгляд, для нормализации матрицы решений могут быть использованы упрощенные формулы (3.1.4.1) и (3.1.4.2) вместо (2.2.4.2) и (2.2.4.3) соответственно. Наш опыт применения многоатрибутивного анализа [51, 126] показал, что выражения (3.1.4.1) и (3.1.4.2) для нормализации матрицы решений дают достаточно эффективный конечный анализ. Стоит также отметить для тех, кто еще не успел приобрести программу многокритериальной оценки агротехнологий [53], представленную в п.3.1.3, что упрощенные формулы нормирования значений матрицы решений (3.1.4.1) и (3.1.4.2) будучи столь же эффективными, как (2.2.4.2) и (2.2.4.3) соответственно, позволяют существенно сократить ручной расчет.

$$Z_{ij} = x_{ij}/x_j^{max}, \quad i = 1, \dots, n, \; j \in \Omega_1, \tag{3.1.4.1}$$

$$Z_{ij} = x_j^{min}/x_{ij}, \quad i = 1, \dots, n, \; j \in \Omega_2. \tag{3.1.4.2}$$

Покажем пример нормирования значения первого атрибута «*процент некондиционных семян к проверенным по засоренности*» первой альтернативы (центральный округ) матрицы решений для опыта №1.

Поскольку данный атрибут является *негативным* (см. рис. 3.12), наименьшее значение в столбце первого атрибута (см. рис. 3.14) примет вид:

$x_1^{min} = 3.2.$

Так как атрибут *негативный*, для нормирования значения x_{11} в опыте №1 воспользуемся формулой (3.1.4.2).

$z_{11} = 3.2/7.8 = 0.4103.$

Рассмотрим другой пример нормирования значения пятого атрибута «*процент кондиционных семян к проверенным*» четвертой альтернативы (северо-кавказский округ) матрицы решений (опыт №5), который является *позитивным* (см. рис. 3.13). Наибольшее значение в столбце первого атрибута (см. рис. 3.15) примет вид:

$x_5^{max} = 96.5.$

Для нормирования значения x_{54} для проведения опыта №5 необходимо воспользоваться выражением (3.1.4.1).

$z_{54} = 90.3/96.5 = 0.9358.$

В таблицах 3.2 – 3.5 показаны результаты расчета нормализованных матриц решений для всех вариантов анализа.

Т а б л и ц а 3.2 **Нормализованная матрица решений для опытов №1-2**

№ альтернативы	Процент некондиц. семян к проверенным по засоренности	Процент некондиц. семян к проверенным по всхожести	Процент некондиц. семян к проверенным по заселенности вредителями	Процент кондиционных семян
1	0.4103	0.0588	0.01	0.9264
2	0.2443	0.0278	0.0017	0.857
3	1	1	1	1
4	0.5161	0.0645	0.0033	0.9358
5	0.2963	0.1176	0.0025	0.9109
6	0.0842	0.0606	1	0.6197
7	0.1036	0.0086	1	0.5575

Для третьего и четвертого вариантов анализа нормализация матрицы решений проводится аналогично, только вместо формул (3.1.4.1) и (3.1.4.2) применяются формулы (2.2.4.2) и (2.2.4.3) соответственно.

Ниже показан пример нормирования значения первого атрибута «*процент некондиционных семян к проверенным по засоренности*» первой альтернативы (центральный округ) матрицы решений для опыта №3 и опыта №4.

$x_1^{min} = 3.2$, $x_1^{max} = 38$, $x_{11} = 7.8$,

$z_{11} = (38 - 7.8)/(38 - 3.2) = 0.8678$;

Т а б л и ц а 3.3 **Нормализованная матрица решений для опыта №3-4**

№ альтернативы	Процент некондиц. семян к проверенным по засоренности	Процент некондиц. семян к проверенным по всхожести	Процент некондиц. семян к проверенным по заселенности вредителями	Процент кондиционных семян
1	0.8678	0.8615	0.8347	0.8337
2	0.7155	0.697	0	0.6768
3	1	1	1	1
4	0.9138	0.8745	0.5008	0.8548
5	0.7816	0.935	0.3339	0.7986
6	0	0.8658	1	0.1405
7	0.204	0	1	0

Т а б л и ц а 3.4 **Нормализованная матрица решений для опыта №5-6**

№ алт.	Процент некондиц. семян к проверенным по засоренности	Процент некондиц. семян к проверенным по всхожести	Процент некондиц. семян к проверенным по влажности	Процент некондиц. семян к проверенным по заселенности вредителями	Процент кондиционных семян
1	0.4103	0.0588	0.0033	0.01	0.9264
2	0.2443	0.0278	0.002	0.0017	0.857
3	1	1	0.01	1	1
4	0.5161	0.0645	1	0.0033	0.9358
5	0.2963	0.1176	0.01	0.0025	0.9109
6	0.0842	0.0606	0.0003	1	0.6197
7	0.1036	0.0086	0.002	1	0.5575

Т а б л и ц а 3.5 **Нормализованная матрица решений для опыта №7-8**

№ алт.	Процент некондиц. семян к проверенным по засоренности	Процент некондиц. семян к проверенным по всхожести	Процент некондиц. семян к проверенным по влажности	Процент некондиц. семян к проверенным по заселенности вредителями	Процент кондиционных семян
1	0.8678	0.8615	0.9094	0.8347	0.8337
2	0.7155	0.697	0.8487	0	0.6768
3	1	1	0.97	1	1
4	0.9138	0.8745	1	0.5008	0.8548
5	0.7816	0.935	0.97	0.3339	0.7986
6	0	0.8658	0	1	0.1405
7	0.204	0	0.8487	1	0

Расчет оптимальных весов критериев. Используя формулу (2.2.4.7), представленную в п.2.2.4 главы 2, получаем оптимальные веса критериев для первого и пятого вариантов анализа, которые показаны в таблице 3.6. Ниже приведен пример расчета оптимальных весов критериев для пятого варианта анализа (опыт №5).

Введем промежуточные переменные для всех пяти атрибутов нормализованной матрицы решений den_1, den_2, den_3, den_4, den_5 для расчета числителя выражения (2.2.4.7), чтобы в дальнейшем определить относительный вес каждого критерия. Тогда

$den_1 = \left(1/\sum_{i=1}^{5}(z_1^* - z_{i1})\right)^2 =$

$1/\left((1-0.4103)+(1-0.2443)+(1-0.5161)+(1-0.2963)+(1-0.0842)+(1-0.1036)\right)^2 =$ 0.053.

$den_2 = \left(1/\sum_{i=1}^{5}(z_2^* - z_{i2})\right)^2 =$

$1/\left((1-0.0588)+(1-0.0278)+(1-0.0645)+(1-0.1176)+(1-0.0606)+(1-0.0086)\right)^2 =$ 0.0312.

$den_3 = \left(1/\sum_{i=1}^{5}(z_3^* - z_{i3})\right)^2 =$

$1/\left((1-0.0033)+(1-0.002)+(1-0.01)+(1-0.01)+(1-0.0003)+(1-0.002)\right)^2 = 0.028.$

$den_4 = \left(1/\sum_{i=1}^{5}(z_4^* - z_{i4})\right)^2 =$

$1/\left((1-0.01)+(1-0.0017)+(1-0.0033)+(1-0.0025)\right)^2 = 0.0631.$

$den_5 = \left(1/\sum_{i=1}^{5}(z_5^* - z_{i5})\right)^2 =$

$1/\left((1-0.9264)+(1-0.857)+(1-0.9358)+(1-0.9109)+(1-0.6197)+(1-0.5575)\right)^2 =$ 0.703.

$$\omega_1 = \frac{den_1}{(den_1 + den_2 + \ den_3 + den_4 + den_5)} = \frac{0.053}{(0.053 + 0.0312 + 0.028 + 0.0631 + 0.703)} = 0.0603.$$

$$\omega_2 = \frac{den_2}{(den_1 + den_2 + \ den_3 + den_4 + den_5)} = \frac{0.0312}{(0.053 + 0.0312 + 0.028 + 0.0631 + 0.703)} = 0.0355.$$

Остальные оптимальные веса критериев рассчитываются по такому же принципу.

Т а б л и ц а 3.6 **Оптимальные веса критериев для первого и пятого вариантов анализа**

Критерии	Оптимальные веса критериев	
	для первого варианта анализа	для пятого варианта анализа
ω_1 (Процент некондиционных семян к проверенным по засоренности)	0.0623	0.0603
ω_2 (Процент некондиционных семян к проверенным по всхожести)	0.0367	0.0355
ω_3 (Процент некондиционных семян к проверенным по влажности)	не участвует в анализе	0.0319
ω_4 (Процент некондиционных семян к проверенным по заселенности вредителями)	0.072	0.0717
ω_5 (Процент кондиционных семян к общему числу проверенных)	0.8268	0.8004

Для опыта №2 оптимальные веса критериев вычисляются с использованием выражения (2.2.4.12), см. п.2.2.4 главы 2. Отличие от приведенного выше расчета для опыта №5 состоит в том, что степени в числителе и в знаменателе для выражений $1/\sum_{i=1}^{5}(z_1^* - z_{i1})$, $1/\sum_{i=1}^{5}(z_2^* - z_{i2})$ и т.д. в

числителе и в знаменателе равны 1. Ниже показан расчет оптимальных весов критериев в опыте №2.

$den_1 = 1/\sum_{i=1}^{5}(z_1^* - z_{i1}) = 1/\big((1-0.4103)+(1-0.2443)+(1-0.5161)+(1-0.2963)+(1-0.0842)+(1-0.1036)\big) = 0.23.$

$den_2 = 1/\sum_{i=1}^{5}(z_2^* - z_{i2}) = 1/\big((1-0.0588)+(1-0.0278)+(1-0.0645)+(1-0.1176)+(1-0.0606)+(1-0.0086)\big) = 0.1766.$

$den_4 = 1/\sum_{i=1}^{5}(z_4^* - z_{i4}) = 1/\big((1-0.01)+(1-0.0017)+(1-0.0033)+(1-0.0025)\big) = 0.2512.$

Т а б л и ц а 3.7 **Оптимальные веса критериев для различных вариантов анализа**

Критерии	Оптимальные веса критериев					
	для опыта №2	для опыта №3	для опыта №4	для опыта №6	для опыта №7	для опыта №8
ω_1 (Процент некондиционных семян к проверенным по засоренности)	0.1537	0.1972	0.2253	0.1383	0.1239	0.1621
ω_2 (Процент некондиционных семян к проверенным по всхожести)	0.118	0.4007	0.321	0.1062	0.2517	0.2309
ω_3 (Процент некондиционных семян к проверенным по влажности)	не участвует в анализе	не участвует в анализе	не участвует в анализе	0.1006	0.3718	0.2807
ω_4 (Процент некондиционных семян к проверенным по заселенности вредителями)	0.1679	0.2301	0.2433	0.1509	0.1446	0.175
ω_5 (Процент кондиционных семян к общему числу проверенных)	0.5604	0.172	0.2104	0.504	0.108	0.1513

$den_5 = 1/\sum_{i=1}^{5}(z_5^* - z_{i5}) = 1/\big((1-0.9264)+(1-0.857)+(1-0.9358)+(1-0.9109)+(1-0.6197)+(1-0.5575)\big) = 0.8385.$

$$\omega_1 = \frac{den_1}{(den_1 + den_2 + den_4 + den_5)} = \frac{0.23}{(0.23 + 0.1766 + 0.2512 + 0.8385)} = 0.1537.$$

$$\omega_2 = \frac{den_2}{(den_1 + den_2 + den_4 + den_5)} = \frac{0.1766}{(0.23 + 0.1766 + 0.2512 + 0.8385)} = 0.118.$$

Остальные оптимальные веса критериев для опыта №2 рассчитываются точно таким же способом. Результаты расчета оптимальных весов критериев для 2-го, 3-го, 4-го, 6-го, 7-го и 8-го вариантов анализа сведены в таблице 3.7.

Целевые функции альтернатив. Для опыта №5 целевая функция первой альтернативы d_1(центральный округ) рассчитывается следующим образом:

$d_1 = (z_1^* - z_{11}) \cdot \omega_1 + (z_2^* - z_{21}) \cdot \omega_2 + (z_3^* - z_{31}) \cdot \omega_3 + (z_4^* - z_{41}) \cdot \omega_4 + (z_5^* - z_{51}) \cdot \omega_5$
$= (1 - 0.4103) \cdot 0.0603 + (1 - 0.0588) \cdot 0.0355 + (1 - 0.0033) \cdot 0.0319 + (1 - 0.01) \cdot 0.0717 + (1 - 0.9264) \cdot 0.8004 = 0.2307.$

Для опыта №1 получены следующие целевые функции альтернатив: d_1(центральный округ) = 0.2055; d_2(северо-западный округ) = 0.275; d_3(южный округ) = 0; d_4 (северо-кавказский округ) = 0.1915; d_5(приволжский округ) = 0.2239; d_6(уральский округ) = 0.406; d_7(дальневосточный округ) = 0.458.

Расчет целевых функций альтернатив в опытах №1-8 представлен в таблице 3.8.

Т а б л и ц а 3.8 **Целевые функции альтернатив для восьми вариантов анализа УПС**

Альтернативы	Целевые функции альтернатив							
	Опыт №1	Опыт №2	Опыт №3	Опыт №4	Опыт №5	Опыт №6	Опыт №7	Опыт №8
1(центральный округ)	0.2055	0.4091	0.1482	0.1495	0.2307	0.4684	0.1269	0.1329
2(северо-западный округ)	0.275	0.4786	0.4632	0.4727	0.2981	0.5308	0.3473	0.3825
3 (южный округ)	0	0	0	0	0.0316	0.0996	0.0112	0.0084
4 (северо-кавказский округ)	0.1915	0.3881	0.2072	0.2118	0.1854	0.3491	0.1302	0.1524
5 (приволжский округ)	0.2239	0.4297	0.257	0.2746	0.2483	0.486	0.1728	0.2059
6 (уральский округ)	0.406	0.4647	0.3988	0.4492	0.4249	0.5188	0.6223	0.6038
7 (дальневосточный округ)	0.458	0.5028	0.7297	0.7107	0.4753	0.5527	0.4583	0.5112

Классификация условий проведения сева производится на основе комплексной оценки условий проведения сева на основе качественных показателей семян ЯЗК. Покажем, как производится расчет комплексной оценки условий проведения сева на основе качественных показателей семян ЯЗК.

Для расчета комплексной оценки с целью классификации условий проведения сева мы рекомендуем несложный способ, который продемонстрируем на примере опытов №1-8. Но вначале необходимо эксперту на основе данных анализируемой матрицы решений, представленных в таблице 3.1 и вычисленных целевых функций альтернатив, выделить три альтернативы, которые бы наилучшим образом относились к классам «*высокий УУПС*», «*средний УУПС*» и «*низкий УУПС*». Для классификации условий проведения сева на основе качественных

показателей семян ЯЗК в данном исследовании эксперт отнес вариант 4 (северо-кавказский округ) к классу «*высокий УУПС*», вариант 2 (северо-западный округ) к классу «*средний УУПС*» и вариант 7 (дальневосточный округ) к классу «*низкий УУПС*». Делается это для перевода значений целевой функции альтернатив к интервальной шкале вида: [0, 0.3125] (*очень низкий УУПС*), [0.3125, 0,3875] (*низкий УУПС*), [0.3875, 0.4625] (*УУПС ниже среднего*), [0.4625, 0.5375] (*средний УУПС*), [0.5375, 0.6125] (*УУПС выше среднего*), [0.6125, 0.6875] (*высокий УУПС*), [0.6875, 1] (*очень высокий УУПС*). Если выходной результирующий показатель уравнения (условия проведения сева) попадет в интервал [0.25, 0.3125], то уровень условий проведения сева (УУПС) будем считать *очень низким* (т.е. отношение к классу *очень низкий*), если же УУПС будет в интервале [0.3125, 0,3875], то он является *низким* и т.д.

Пример вычисления комплексных оценок альтернатив для опыта №1 следующий примет вид:

комплексные оценки для альтернатив 2, 4, 7 уже известны и равны c_2 (северо-западный округ) = 0.5, c_4 (северо-кавказский округ) = 0.65, c_7 (дальневосточный округ) = 0.35, для остальных альтернатив их требуется рассчитать; для данного примера расчет комплексных оценок УУПС производится по формуле

$$c_i(d) = \begin{cases} 0.5 - \frac{(d_i - d_2)}{(d_7 - d_2)} \cdot 0.15, & \text{если } d_i > d_2, \\ 0.5 + \frac{(d_2 - d_i)}{(d_2 - d_4)} \cdot 0.15, & \text{если } d_i < d_2, \end{cases}$$

тогда

c_1(центр. округ) = 0.5 + (0.275 – 0.2055)/(0.275 – 0.1915) · 0.15 = 0.6249 (*высокий УУПС*),

c_3(южный округ) = 0.5 + 0.275/(0.275 – 0.1915) · 0.15 = 0.994 (*очень высокий УУПС*),

c_5(приволжс. округ) = 0.5+ (0.275–0.2239)/(0.275–0.1915) · 0.15 = 0.5918 (*УУПС выше ср.*),

c_6(уральский округ) = 0.5 – (0.406 – 0.275)/(0.458 – 0.275) · 0.15 = 0.3926 (низкий *УУПС*).

Расчета комплексных оценок уровней условий проведения сева (УУПС) для всех альтернатив в опытах №1-8 представлен в таблице 3.9.

Таблица 3.9 **Комплексные оценки альтернатив для восьми вариантов анализа УПС**

Альтернативы	Комплексные оценки альтернатив							
	Опыт №1	Опыт №2	Опыт №3	Опыт №4	Опыт №5	Опыт №6	Опыт №7	Опыт №8
1(центральный округ)	0.6249	0.6152	0.6846	0.6858	0.5897	0.5515	0.6523	0.6627
2(северо-западный округ)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
3 (южный округ)	0.994	1.29	0.7714	0.7718	0.8547	0.856	0.7322	0.7439
4 (северо-кавказский округ)	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65
5 (приволжский округ)	0.5918	0.581	0.6208	0.6139	0.5663	0.537	0.6206	0.6151
6 (уральский округ)	0.3926	0.523	0.5377	0.5135	0.3927	0.5099	0.1284	0.2421
7 (дальневосточный округ)	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35

Анализ полученных результатов. Результаты расчетов абсолютного значения отклонения каждой альтернативы от идеальной позволили проранжировать варианты решения проблемы (табл. 3.10).

Т а б л и ц а 3.10 **Оценка альтернатив**

Варианты анализа	Ранжирование альтернатив
Оценка альтернатив для опыта №1	7 < 6 < 2 < 5 < 1 < 4 < 3
Оценка альтернатив для опыта №2	7 < 2 < 6 < 5 < 1 < 4 < 3
Оценка альтернатив для опыта №3	7 < 2 < 6 < 5 < 4 < 1 < 3
Оценка альтернатив для опыта №4	7 < 2 < 6 < 5 < 4 < 1 < 3
Оценка альтернатив для опыта №5	7 < 6 < 2 < 5 < 1 < 4 < 3
Оценка альтернатив для опыта №6	7 < 2 < 6 < 5 < 1 < 4 < 3
Оценка альтернатив для опыта №7	6 < 7 < 2 < 5 < 4 < 1 < 3
Оценка альтернатив для опыта №8	6 < 7 < 2 < 5 < 4 < 1 < 3

Анализ показал, что полученные значения для варианта 3(южный округ) являются оптимальными в плане обеспечения хозяйств кондиционными семенами по результатам всех опытов. Вслед также уверенно идут вариант 4 (северо-кавказский округ) и вариант 1 1(центральный округ). Согласно проведенным вариантам анализа небольшая перестановка наблюдается среди 2-й и 5-й альтернатив. Но согласно значениям целевых функций эти альтернативы лишь немногим отличаются друг от друга. И, наконец, альтернативы 7 и 6 являются уверенными аутсайдерами.

3.2. Построение логико-лингвистической модели оценивания условий проведения сева яровых зерновых культур.

3.2.1 Постановка задачи.

Построение логико-лингвистической модели оценивания условий проведения сева яровых зерновых культур в данном разделе производится на примере задачи подготовки к севу различных регионов РФ.

Необходимо произвести классификацию состояний семенного материала по степени кондиционности и ранжировать наиболее и наименее подготовленные округа к процессу проведения сева различных округов РФ на 01.03.2012. Для этого используются данные филиалов ФГБУ

«Россельхозцентр» за 2012 год о качественных показателях семян яровых зерновых и зернобобовых в различных регионах и округах РФ. Для решения задачи необходимо построить математическую модель (полином), способную вычислить уровень подготовки округов РФ к процессу проведения сева (далее УПОППС).

3.2.2 Выбор и обоснование факторного пространства.

Решение задачи ранжирования наиболее и наименее подготовленных округов РФ к процессу проведения сева посредством многоатрибутивного сравнительного анализа по схеме Ли –Ванга представлено в п 3.1.4. В целях реализации выбранного способа многомодельного исследования для решения той же задачи требуется построить математическое решение, основанное на логико-лингвистической модели по схеме Спесивцева-Дроздова.

Модель Спесивцева-Дроздова в отличие от многоатрибутивного сравнительного анализа требует набора экспертных оценок. В тоже время пятый входной параметр условий проведения сева (см. п.3.1.4, табл.3.1) «*Процент кондиционных семян, всего*» в данном примере учитываться не будет. Согласно вышеуказанным данным от филиалов ФГБУ «Россельхозцентр» примерно 99% из некондиционных семян учитываются первыми четырьмя входными показателями, приведенными в табл. 3.1. В таких условиях эксперт без труда сможет учитывать и пятый фактор, но только неявным образом – на основе комбинации первых четырех.

На рис. 3.19 представлены входные (X_i) и выходные (Y_i) переменные условий проведения сева в различных округах РФ на основе качественных показателей семян различных сортов яровых зерновых культур.

Лингвистическая шкала по каждой из входных переменных была разбита на три значения, а выходная переменная была разбита на семь значений. Соответствие смысловых и числовых значений по используемым ЛП приведено в табл.3.11.

Т а б л и ц а 3.11 **Соответствие значений входных ЛП**

X_1			X_2		
Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале	Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале
Нулевое	(0, 0, 22)	1	Нулевое	(0, 0, 12)	1
Среднее	(22, 22, 20)	0	Среднее	(12, 12, 13)	0
Большое	(42, 20, 0)	-1	Большое	(25, 13, 0)	-1
X_3			X_4		
Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале	Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале
Нулевое	(0, 0, 8)	1	Нулевое	(0, 0, 3)	1
Среднее	(8, 8, 9)	0	Среднее	(3, 3, 4)	0
Большое	(17, 9 ,0)	-1	Большое	(7, 4, 0)	-1

В таблице 3.11 согласно принятой методике числовые значения представлены в виде унимодальных нечетких чисел (L-R) – типа:

$\mu_A(x) = L((a-x)/\alpha),\ \forall x \le a,\ \alpha > 0,$

$\mu_A(x) = R((x-a)/\beta),\ \forall x \le a,\ \beta > 0,$

где a – представительное значение или мода нечеткого числа, или его среднее, α,β – соответственно левый и правый коэффициенты нечеткости. Таким образом, унимодальное нечеткое число можно представить в виде тройки параметров $A = (a, \alpha, \beta)$.

Реализация плана опроса с представлением результатов в таком виде позволяет задавать множество ситуаций с одновременным варьированием всех переменных, использую минимальное и максимальное значения ЛП, являющиеся концами оппозиционной шкалы для двухуровнего планирования.

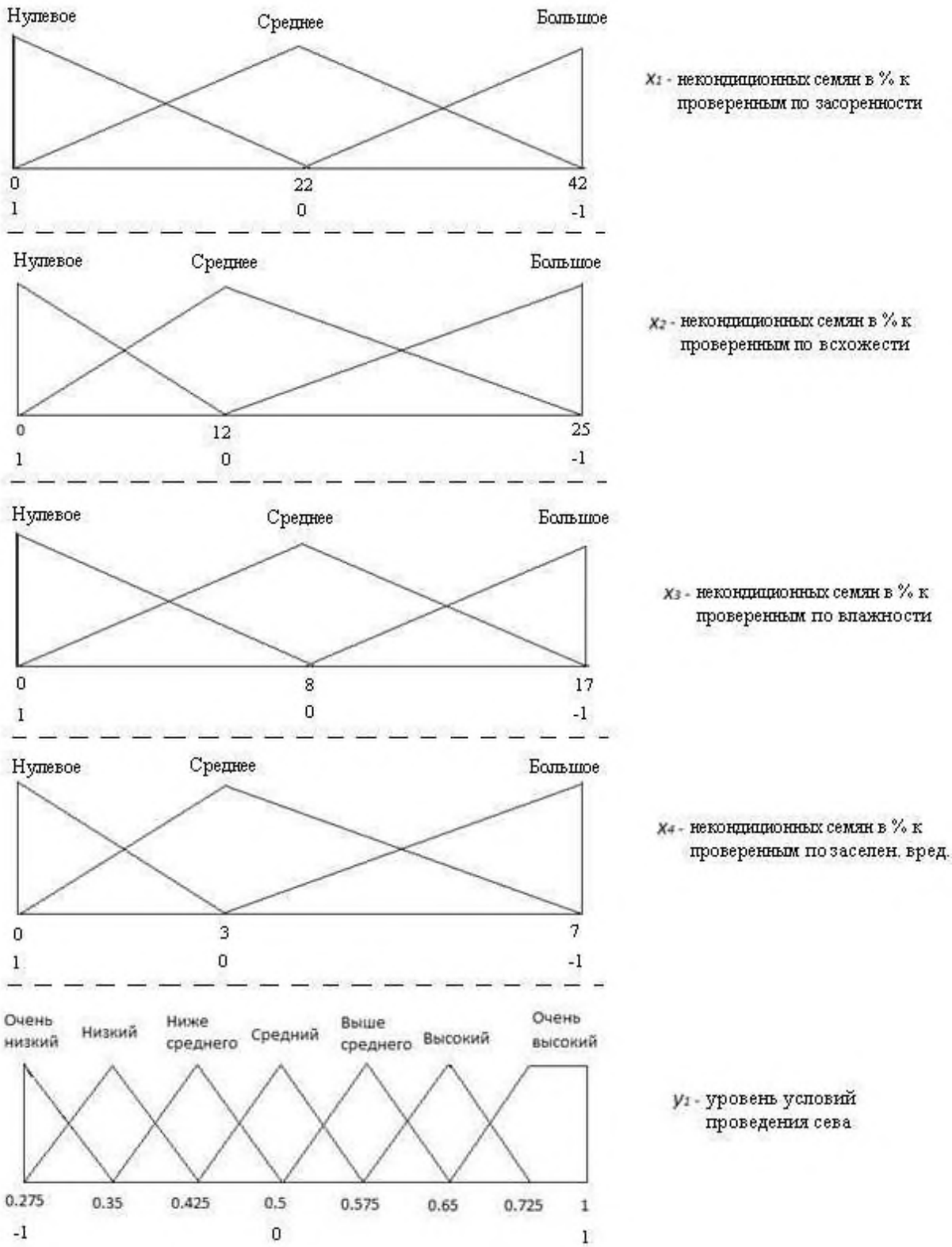


Рис. 3.19 представлены входные (*X*i) и выходные (*Y*i) переменные условий проведения сева

3.2.3. Построение опросной матрицы и получение модели.

План опроса представлял собой реплику типа 2^4 с определяющим контрастом $I = x_1x_2x_3x_4$. В табл. 3.14 была реализована матрица полного факторного эксперимента.

Интервалы варьирования, полученные на основании методов точной интерпретации нечетких множеств, приведены в табл.3.13.

Ситуации задавались в следующей форме:

«Если x_1=0 и x_2=3 и x_3=2 и x_4=0, то Y_1=?»

Т а б л и ц а 3.12 **Соответствие значений выходной ЛП**

Y_1	
Смысл	Значение
Очень низкий	(0.275, 0, 0.075)
Низкий	(0.35, 0.075, 0.075)
Ниже среднего	(0.425, 0.075, 0.075)
Средний	(0.5, 0.075, 0.075)
Выше среднего	(0.575, 0.075, 0.075)
Высокий	(0.65, 0.075, 0.075)
Очень высокий	(0.725, 0.075, 0.275)

Т а б л и ц а 3.13 **Таблица условий опроса**

Величина	X_1	X_2	X_3	X_4
Основной уровень	22	12	8	3
Интервал варьирования	22-20	12-13	8-9	3-4
Нижний уровень	0	0	0	0
Верхний уровень	42	25	17	7
Кодированное обозначение	x_1	x_2	x_3	x_4

Математической обработкой результатов опроса по матрице планирования получена следующая зависимость:

$$Y_1=0.4016+0.0797x_1+0.0703x_2+0.0328x_3+0.0234x_4+0.0422x_1x_2+0.0234x_1x_3+0.0141x_1x_4+0.0141x_2x_3+0.0234x_1x_2x_3+0.0141x_1x_2x_4-0.0141x_2x_3x_4 \quad (3.2.3.1)$$

Т а б л и ц а 3.14 **Матрица опроса**

	Процент некондиц. семян к проверенным по засоренности	Процент некондиц. семян к проверенным по всхожести	Процент некондиц. семян к проверенным по влажности	Процент некондиц. семян к проверенным по заселенности вредителями	Уровень условий проведения сева различных сортов яровой пшеницы
№	X_1	X_2	X_3	X_4	Y
1	-1	-1	-1	-1	очень низкий
2	1	-1	-1	-1	низкий
3	-1	1	-1	-1	низкий
4	1	1	-1	-1	ниже среднего
5	-1	-1	1	-1	очень низкий
6	1	-1	1	-1	низкий
7	-1	1	1	-1	низкий
8	1	1	1	-1	высокий
9	-1	-1	-1	1	очень низкий
10	1	-1	-1	1	низкий
11	-1	1	-1	1	низкий
12	1	1	-1	1	выше среднего
13	-1	-1	1	1	низкий
14	1	-1	1	1	ниже среднего
15	-1	1	1	1	низкий
16	1	1	1	1	очень высокий

Для того чтобы убедиться в надежности полученного уравнения и правомерности его использования для практической цели, необходимо дать статистическую оценку надежности показателей связи. Для этого используют критерий Фишера (*F*-отношение).

Критерий Фишера рассчитывается следующим образом:

$$\sigma^2_{факт}=\frac{\sum(Yxi-Yx)^2}{m-1}; \quad (3.2.3.2)$$

$$\sigma^2_{ост}=\frac{\sum(Yi-Yxi)^2}{n-m}; \quad (3.2.3.3)$$

$$F = \frac{\sigma^2 \text{факт}}{\sigma^2 \text{ост}}; \qquad (3.2.3.4)$$

где $\sigma_{ост}$ – остаточная дисперсия, $\sigma_{факт}$ - факторная дисперсия, Y_{xi} – индивидуальное значение результативного показателя; Y_x – среднее значение результативного показателя; Y_i – фактическое индивидуальное значение результативного показателя; m – количество параметров в уравнении, учитывая и свободный член; n – количество наблюдений (объем выборки).

Фактическая величина F- отношения сопоставляется с табличной и делается заключение о надежности связи. В нашем примере F-отношение равно 68.62. F-теоретическое рассчитано по таблице значений F. При уровне вероятности $P = 0.05$ и количество степеней свободы:

$$(m\text{-}1)/(n\text{-}m) = 11/4; \qquad (3.2.3.5)$$

оно будет составлять *5.935*, так как $F_{факт} > F_{табл.}$, то гипотеза об отсутствии связи между результативным показателем и исследуемыми факторами отклоняется.

Авторы логико-лингвистического подхода для проверки качества, полученного уравнения, в работах [33, 34] рекомендуют использовать коэффициент нечеткости эксперта, который выражается:

$$d(A) = \frac{\alpha + \beta}{2} = (2 \cdot 0.075)/2 = 0.075. \qquad (3.2.3.6)$$

Если $\sigma_{ост} < 0.5 \cdot d(A)$, то найденное математическое выражение (3.2.3.1) считается надежным и рекомендуется для использования при решении практических задач. Поскольку $\sigma_{ост} = 0.018$, то это означает, что выражение (3.2.3.1) можно применять в сельскохозяйственной практике.

Таким образом, на основе алгоритма *построения логико-лингвистической модели* рассмотрен пример построения полинома для оценивания условий проведения сева в различных округах РФ (на 01.03.2012) на основе биофизических показателей семян яровых зерновых культур. Результаты расчета комплексных оценок с использованием выражения

(3.2.3.1) можно будет сравнить с результатами проведенного в п.3.1.4 многоатрибутивного анализа.

3.2.4 Проведение практических расчетов оценки биофизических показателей семян.

Применим полученное в п.3.2.3 выражение (3.2.3.1) для сравнения вариантов условий из опытов №1-8, описанных в п.3.1.4, для решения той же задачи, которая решалась в п.3.1.4 посредством многоатрибутивного анализа по схеме Ли-Ванга, но отличие состоит в том, что в при использовании логико-лингвистического подхода эксперты оценивают предлагаемые варианты условий проведения сева на основе биофизических показателей семян ЯЗК согласно матрице опроса, и сравним полученные результаты.

Результаты расчета уровней условий проведения сева (УУПС) различных сортов ЯЗК на основе качественных показателей семян в различных округах РФ на 01.03.2012 сведены в таблице 3.15. Альтернативы ранжируются следующим образом: $6 < 7 < 2 < 5 < 1 < 4 < 3$. Многоатрибутивный анализ по результатам опыта №5 (см. п.3.1.4 табл. 3.10) ранжировал альтернатива так:
$7 < 6 < 2 < 5 < 1 < 4 < 3$. Результаты сравнения практически совпадают. Худшими вновь оцениваются альтернативы 7 и 6, но меняются местами. Это несущественное отличие, т.к. указанные альтернативы имеют практически одинаковые оценки, как в многоатрибутивном анализе, так и с использованием выражения (3.2.3.1), полученного в п.3.2.3 на основе логико-лингвистического подхода по схеме Спесивцева – Дроздова.

Но стоит отметить, что логико-лингвистическая модель позволяет не только сравнивать альтернативы, но и классифицировать анализируемые условия проведения сева различных сортов ЯЗК на основе качественных показателей без дополнительных математических приемов, которые применялись для классификации условий проведения сева в многоатрибутивном анализе в п.3.1.4. Для решения таких частных задач

необходимо иметь экспертные оценки согласно матрице планирования опроса и моделировать. Для сравнения альтернатив с использованием многоатрибутивного анализа достаточно воспользоваться уже готовым программным продуктом, представленным в п.3.1.3. Как мы только, что убедились, этот программный продукт проводит эффективный сравнительный анализ, оперируя при этом значительно меньшим объемом информации по сравнению анализом на основе логико-лингвистического подхода, так как оценки экспертов не требуются.

Полученное решение (3.2.3.1), представленное в п.3.2.3, также можно свести к задаче классификации. Если выходной результирующий показатель уравнения (условия проведения сева) попадет в интервал [0.25, 0.3125], то уровень условий проведения сева (УУПС) будем считать *очень низким* (т.е. отношение к классу *очень низкий*), если же УУПС будет в интервале [0.3125, 0,3875], то он является *низким* и т.д. Далее математическое решение (3.2.3.1) было применено к оцененному экспертами набору данных, полученных от различных филиалов ФГБУ «Россельхозцентр», но не относящихся к обучающей выборке.

Результаты нечеткой классификации оценки рисков с применением нечеткой логико-лингвистической модели совпали с результатами экспертной классификации для 45 условий проведения сева из 49 и не совпали для 4 условий. Такой результат можно считать приемлемым в плане точностных характеристик полученной модели.

В целом, нечеткую классификацию с применением логико-лингвистической модели можно считать приемлемым решением для многих практических задач.

Таблица 3.15 **Варианты реализации анализируемого сравнения предпосевного состояния семян с использованием логико-лингвистической модели**

Альтернативы	Процент некондиционных семян к проверенным (%)				Полученная комплексная оценка условий проведения сева
	по засоренности	по всхожести	по влажности	по заселенности вредителями	
1(центральный округ)	7,8	3,4	0,3	0,1	0,6175 (*высокий* УУПС)
2(северо-западный округ)	13,1	7,2	0,5	0,6	0,538 (УУПС *выше среднего*)
3 (южный округ)	3,2	0,2	0,1	0	0,693 (УУПС *очень высокий*)
4 (северо-кавказский округ)	6,2	3,1	0	0,3	0,6335 (*высокий* УУПС)
5 (приволжский округ)	10,8	1,7	0,1	0,4	0,6086 (УУПС *выше среднего*)
6 (уральский округ)	38	3,3	3,3	0	0,3685 (*низкий* УУПС)
7 (дальневосточный округ)	30,9	23,3	0,5	0	0,3734 (*низкий* УУПС)

3.3. Сравнительный анализ расчетов оценки состояния семенного материала при проведении сева по двум предложенным алгоритмам.

В табл.3.16 показано сравнение вариантов анализа условий проведения сева на основе качественных характеристик семян ЯЗК для различных регионов РФ на 01.03.2012 посредством многоатрибутивного анализа (см. п.3.1.4 опыты №1-8) относительно анализа с помощью эталонной логико – лингвистической модели (3.2.3.1), представленного в п.3.2.4. Тогда лучший вариант анализа и будет наибольшим образом соответствовать

представлению эксперта, опыт и знания которого использовались для построения модели (3.2.3.1), об объекте исследования.

Таблица 3.16 **Сравнительный анализ расчетов оценки состояния семенного материала при проведении сева в различных округах РФ на 01.03.2012 посредством многоатрибутивного анализа по схеме Ли – Ванга относительно эталонной логико – лингвистической модели (3.2.3.1)**

Варианты анализа УПС	Количество возможных ошибок при ранжировании альтернатив (всего)	Количество существенных ошибок при ранжировании альтернатив	Количество возможных ошибок при классификации УПС (всего)	Количество существенных ошибок при классификации УПС	Стандартное отклонение
Вариант 1 многоатрибутивного анализа	1	–	2 (из 7 классификаций)	–	0.1157
Вариант 2 многоатрибутивного анализа	2	1	2 (из 7 классификаций)	1 (из 7 классификаций)	0.234
Вариант 3 многоатрибутивного анализа	3	1	3 (из 7 классификаций)	1 (из 7 классификаций)	0.0772
Вариант 4 многоатрибутивного анализа	3	1	3 (из 7 классификаций)	1 (из 7 классификаций)	0.0699
Вариант 5 многоатрибутивного анализа	1	–	3 (из 7 классификаций)	–	0.0671
Вариант 6 многоатрибутивного анализа	2	1	4 (из 7 классификаций)	1 (из 7 классификаций)	0.0913
Вариант 7 многоатрибутивного анализа	1	–	3 (из 7 классификаций)	1 (из 7 классификаций)	0.0947
Вариант 8 многоатрибутивного анализа	1	–	2 (из 7 классификаций)	–	0.0572

Сведенные в табл.3.16 результаты проведенных опытов №1-8 с использованием многоатрибутивного анализа показали, что вариант 8 (опыт №8) обеспечивает наиболее подходящее эксперту ранжирование альтернатив (УПС на основе качественных и сортовых показателей семян ЯЗК в различных регионах РФ на 01.03.2012), наилучшую классификацию УПС и наименьшее стандартное отклонение относительно проведенных результатов расчетов посредством эталонной логико – лингвистической модели (3.2.3.1). Следовательно, оптимальные веса критериев и целевые функции альтернатив, полученные в результате проведенного с использованием многоатрибутивного анализа опыта №8, можно также успешно использовать для практических расчетов, как и найденные коэффициенты эталонной модели (3.2.3.1).

Таким образом, проведенный по двум предложенным алгоритмам сравнительный анализ условий проведения сева на основе качественных показателей семян ЯЗК в различных регионах РФ на 01.03.2012 показал, что полученные математические решения для анализа равноточны. Результаты, полученные посредством многоатрибутивного анализа по схеме Ли-Ванга эксперт оценивает после проведения расчетов. Используя многоатрибутивный анализ, эксперт может варьировать количеством атрибутов, их комбинацией, а также способами нормализации матриц решений и видами функций ограничения при решении многоцелевой задачи определения оптимальных весов критериев, и получить такое математическое решение, которое бы наилучшим образом отвечало требованиям данного конкретного эксперта. При правильном использовании многоатрибутивного анализа можно за относительно короткий срок и при минимальных усилиях со стороны исследователя получать приемлемые математические решения, способные ранжировать и классифицировать альтернативы в условиях неопределенности.

3.4. Оценка риска снижения полевой всхожести семян яровых зерновых культур перед проведением посевных работ.

3.4.1 Оценка риска снижения полевой всхожести семян ЯЗК на основе логико-лингвистического подхода.

Условия проведения сева сельскохозяйственных культур оказывают существенное влияние на величину и качество получаемого урожая. Существует обширная литература по изучению влияния на конечную продуктивность предпосевной обработки почвы, агрометеорологических условий, качества посевного материала и по ряду других факторов. Для исследования условий проведения сева применяются различные методы, такие как космический мониторинг запаса продуктивной влаги пахотных земель и оценка календарных дат сева [91].

Большой практический интерес представляет комплексное оценивание рисков потерь урожая зерновых культур при проведении сева. Оно необходимо при решении экономических задач, таких как оценивание убытков, причиненных застрахованному урожаю сельскохозяйственных культур. Например, в работе [100] говорится, что в ходе экспертного оценивания убытков, причиненных застрахованному урожаю озимых зерновых культур, осуществляется проверка даты сева, подготовки грунта перед севом, вида и плотности сева. В этой работе указывается, что посевной материал должен отвечать санитарным условиям, необходимым для надлежащего развития сельхозкультуры.

Для решения проблемы оценки рисков снижения полевой всхожести при посеве зерновых культур с учетом разнокачественности семенного материала был выбран подход к проектированию и разработке с использованием теории нечетких множеств. Было решено выделить типовые классы рисков. Эти классы рисков могут определяться с помощью алгоритмов нечеткой классификации. В данной работе для проведения многомодельного анализа рисков снижения полевой всхожести семян ЯЗК,

учитывая его простоту и универсальность, был выбран и применен *логико-лингвистический подход* по схеме Спесивцева – Дроздова [33] . Такой подход позволяет учитывать слабоструктурированный характер экспертной информации.

Постановка задачи. Построение нечеткого классификатора, предназначенного для оценивания рисков снижения полевой всхожести семян ЯЗК при посеве на основе биофизических характеристик семян, состоит из нескольких этапов. На первом этапе должны быть определены входные и выходных переменные.

На втором этапе проектируется структурная схема нечеткого классификатора.

Третий этап включает в себя сбор экспертной информации в соответствии со сформированной матрицей опроса экспертов на основе метода планирования эксперимента (см. главу 2 п.2.2.5). Сведение оценок, полученных от разных экспертов, может производится различными способами, например, может использоваться метод *сводных показателей*, который подробно рассматривается в работах [37, 44, 45, 46, 87]. Примеры листков опроса экспертов приведены в приложении 1.

На четвертом этапе формируется набор продукционных правил на основе полученных от экспертов оценок.

Пятый этап заключался в выделении классов рисков при проведении сева яровых зерновых культур на основе качественных показателей семян в соответствии с полученной на четвертом шаге продукционной базой правил.

На шестом этапе строится *логико-лингвистическая модель* оценивания условий проведения сева по схеме Спесивцева – Дроздова.

На седьмом этапе поиск выделенных классов производится с помощью полученной на шестом этапе *логико-лингвистической модели*.

Восьмой этап заключался в определении точности работы построенного нечеткого классификатора и его программной реализации.

На последнем девятом этапе созданная программа должна быть применена для анализа возможных рисков снижения полевой всхожести при проведении сева различных сортов яровых зерновых культур в различных регионах РФ за 2012-2014 годы (на основе данных полученных от филиалов ФГБУ «Россельхозцентр», представленных приложении 2).

Формирование входного факторного пространства и определение выходных результативных показателей. Исходя из опроса экспертов, на вход модели подается набор лингвистических переменных (табл. 3.17).

Уровень рисков при проведении сева (УРПС) является единственной выходной лингвистической переменной.

Т а б л и ц а 3.17 **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

Структурная схема математической модели. Структура нечеткого классификатора показана на рис. 3.20.

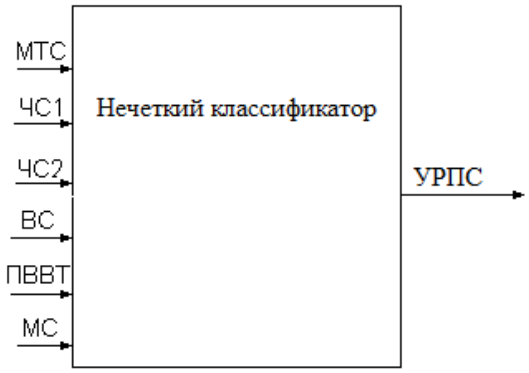


Рис. 3.20 Структура модели нечеткого классификатора.

Построение опросной матрицы и получение модели. Соответствие значений входных ЛП показано в табл. 3.18.

Т а б л и ц а 3.18 **Соответствие значений входных ЛП для модели оценивания степени кондиционности семенного материала ЯЗК при посеве**

X_1			X_2		
Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале	Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале
Низкий уровень МТС	(19.9, 4, 12.6)	-1	Низкий уровень ЧС1	(95.9, 1.5, 1.6)	-1
Средний уровень МТС	(32.5, 12.6, 12.6)	0	Средний уровень ЧС1	(97.5, 1.6, 1.6)	0
Высокий уровень МТС	(45.1, 12.6, 5)	1	Высокий уровень ЧС1	(99.1, 1.6, 1.9)	1
X_3			X_4		
Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале	Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале
Малое кол-во семян сорных растений	(4, 24 ,24)	1	Низкий уровень лаб. всхожести семян	(82, 2, 5)	-1
Среднее кол-во семян сорных растений	(27, 24, 23)	0	Средний уровень лаб. всхожести семян	(87, 5, 5)	0
Большое кол-во семян сорных растений	(51, 25, 24)	-1	Высокий уровень лаб. всхожести семян	(92, 5, 8)	1
X_5			X_6		
Смысл	Значение	Значение моды в НШ	Смысл	Значение	Значение моды в НШ
Низкий ПВВТ	(19.9, 12, 7.1)	1	Низкий МС	(17.9, 12.9, 6.1)	1
Средний ПВВТ	(27, 7.1, 7.1)	0	Средний МС	(24, 6.1, 6.1)	0
Высокий ПВВТ	(34.1, 7.1, 10)	-1	Высокий МС	(30.1, 6.1, 6)	-1

Комплексная оценка степени кондиционности семенного материала для проведения сева (Y) является выходным результирующим показателем, создаваемой логико – лингвистической модели. Уровень риска снижения полевой всхожести (УР СПВ) семян ЯЗК равен разности единицы и оценки степени кондиционности семенного материала:

УР СПВ = 1 - Y. (3.4.1.1)

Полный вариант матрицы опроса для модели оценивания степени кондиционности семенного материала ЯЗК при посеве приводится в приложении 3.

Математической обработкой результатов опроса по матрице планирования получена следующая зависимость:

$$Y=0.43+0.0335x_1+0.0095x_2+0.0218x_3+0.0407x_4+0.019x_5+0.0239x_6+0.0123x_3x_4+0.0116x_5x_6 \quad (3.4.1.2)$$

где Y - комплексная оценка степени кондиционности семенного материала ЯЗК при посеве; 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, %.

Характеристики надежности и качества полученной математической зависимости (3.4.1.2) подтверждают ее практическую целесообразность и имеют следующий вид:

σ=0.0082; $\sigma^2_{ост}$ = 0.000077; $\sigma^2_{факт}$ = 0.0365; $F_{факт}$ = 471.7; $F_{табл}$ = 2.11; $d(A) = 0.02$,

где σ – стандартное отклонение, $\sigma_{ост}$ – остаточная дисперсия, $\sigma_{факт}$ - факторная дисперсия, $F_{факт}$– фактическая величина F-отношения (критерий Фишера), $F_{табл}$ – F-теоретическое (рассчитано по таблице значений F), $d(A)$ - коэффициент нечеткости эксперта.

Таким образом, с помощью методики построения логико-лингвистических моделей на основе знаний и опыта экспертов построена математическая модель для оценивания рисков снижения полевой всхожести семян яровых зерновых культур при посеве, что является основой для решения основной задачи исследования - определение оптимальных норм высева.

3.4.2 Оценка риска снижения полевой всхожести семян ЯЗК на основе метода минимальных средневзвешенных отклонений по схеме Ли – Ванга.

Используя экспертные оценки рисков снижения полевой всхожести семян яровых зерновых культур на основе биофизических показателей, представленные в приложении 1, были сформулированы 24 варианта анализируемых предпосевных состояний семян. Эти варианты характеризуются следующими показателями:

- масса 1000 семян (МТС), г.;
- чистота семян (сортовая) (ЧС1), %;
- чистота семян (сорняки) (ЧС2), шт./кг;
- всхожесть семян (ВС), %;
- показатель внешней и внутренней травмированности (ПВВТ), %;
- микробиом семени (МС), %.

На основе полученных от экспертов данных нами была построена матрица решений (табл. 3.19).

Многоатрибутивный анализ проводился следующим образом:

1) расчет нормализованной матрицы решений происходит по формулам (3.1.4.1) и (3.1.4.2), которые были рассмотрены в п.3.1.4;

2) оптимальные веса критериев вычисляются с использованием выражения (2.2.4.7), представленного в п.2.2.4 главы 2.

Используя формулу (2.2.4.7), нами были получены следующие оптимальные веса критериев:

$\omega_1(МТС) = 0.00476$, $\omega_2(ЧС1) = 0.84145$, $\omega_3(ЧС2) = 0.00106$, $\omega_4(ВС) = 0.1483$, $\omega_5(ПВВТ) = 0.0009$, $\omega_6(МС) = 0.00357$.

Целевые функции альтернатив приняли вид:

$d_1 = 0.038$, $d_2 = 0.0307$, $d_3 = 0.0481$, $d_4 = 0.0532$, $d_5 = 0.05475$, $d_6 = 0.0473$, $d_7 = 0.0553$, $d_8 = 0.0547$, $d_9 = 0.0372$, $d_{10} = 0.0491$, $d_{11} = 0.0365$, $d_{12} = 0.0456$, $d_{13} = 0.041$, $d_{14} = 0.0332$, $d_{15} = 0.0363$, $d_{16} = 0.0338$, $d_{17} = 0.0425$, $d_{18} = 0.0093$, $d_{19} = 0.0153$, $d_{20} = 0.0094$, $d_{21} = 0.0217$, $d_{22} = 0.0077$, $d_{23} = 0.0648$, $d_{24} = 0.05$.

Т а б л и ц а 3.19 **Матрица решений**

№ п/п условия (альтернативы)	Входные переменные					
	МТС	ЧС1	ЧС2	ВС	ПВВТ	МС
1	45	96	50	92	34	30
2	20	99	50	82	20	30
3	20	96	50	87	20	30
4	45	96	50	82	34	18
5	20	96	5	82	34	18
6	20	96	50	87	34	18
7	20	96	50	82	20	18
8	20	96	5	82	20	18
9	45	96	50	92	20	18
10	35.8	96.4	46	83	37.2	19
11	33.8	97.4	28	86	30	27
12	38.8	95.95	51	87	34.6	14
13	41.2	95.6	54	91	20	10
14	39	96.8	31	90	20	12
15	25	96.3	39	91	21	9.5
16	41	96.45	44	92	19.5	19
17	29	96.4	44	87	19	13.5
18	45	99	15	93	5	14
19	45	99	4	89	10	14
20	45	99	30	93	5	14
21	55	99.7	3	80	2	13
22	36.2	99.4	4	92	19.4	12.4
23	55	95	70	80	40	33
24	11.5	96.8	32	82	31	29

Таким образом, в рамках многомодельного анализа риска снижения полевой всхожести семян ЯЗК на основе биофизических показателей разработан еще один вариант алгоритма принятия решений с использованием метода минимальных средневзвешенных отклонений по схеме Ли – Ванга. Это позволит получать более надежные оценки риска снижения полевой всхожести семян ЯЗК и, соответственно, принимать более обоснованные решения.

3.4.3 Компьютерная программа для оценки рисков снижения полевой всхожести семян яровых зерновых культур перед проведением посевных работ.

Для практического использования нечеткого классификатора, предназначенного для оценки рисков снижения полевой всхожести при проведении сева, была разработана компьютерная программа «Ассистент агронома». Она была создана с использованием языков программирования C# и C. Исполняемый код программы может использоваться в таких популярных операционных системах, как Microsoft Windows XP, Microsoft Windows 2003, Microsoft Windows Vista, Microsoft Windows 7. Интерфейс пользователя программы показан на рис. 3.21.

Входными данными являются качественные и сортовые характеристики семян, а также показатели качества проведения сева. К выходным данным относится, получаемая в результате процессинга описываемой в данной работе экспертной системы, оценка рисков при проведении сева в конкретных условиях.

Таким образом, для практического использования созданной многомодельной методики для оценивания рисков снижения полевой всхожести семян ЯЗК перед проведением посевных работ разработана компьютерная программа, которая позволяет существенно сократить время на проведение анализа, делает оценки менее зависимыми от предпочтений экспериментаторов и создает условия для более обоснованного принятия управленческих решений.

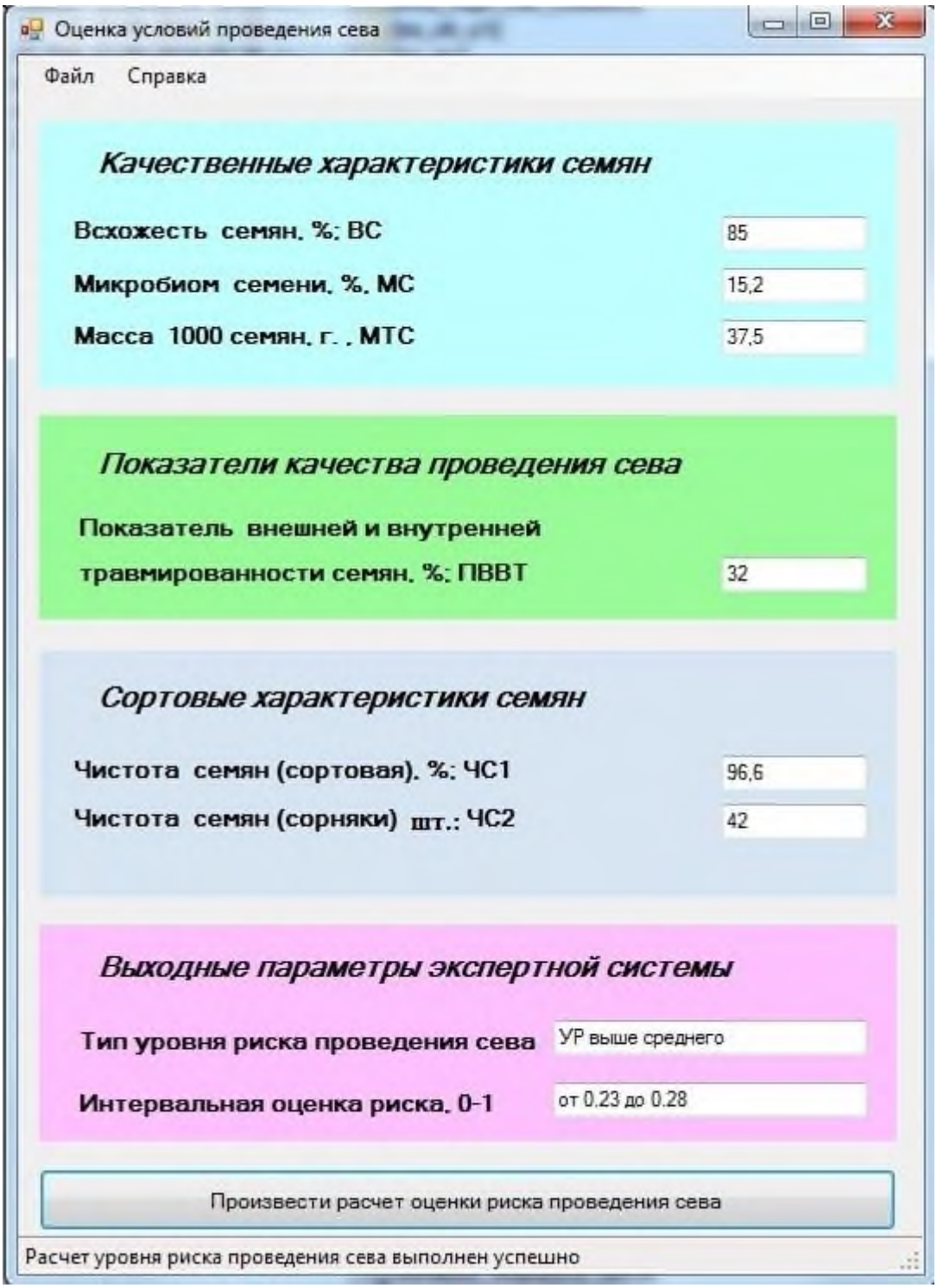


Рис.3.21 Пользовательский интерфейс программы «Ассистент агронома»

3.5. Разработка математической модели оптимизации норм высева семян яровых зерновых культур.

3.5.1. Постановка задачи.

Необходимо с помощью методики 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:

- идентифицировать модель в форме полинома, позволяющую прогнозировать урожайность зерновых культур;
- построить алгоритм оценивания рисков снижения или потерь урожайности;
- построить алгоритм вычисления комплексной оценки условий проведения сева с использованием модели Мамдани, учитывающий урожайность зерновых культур, степень рисков снижения или потерь урожая и выбранной нормы высева;
- показать как с помощью, полученного решения, можно отыскать оптимальную норму высева;
- проверить адекватность представленных в данной работе математических моделей на основе статистических данных, полученных из опытов [25].

3.5.2 Оценка агроклиматических условий для проведения сева.

На основе мнений экспертов были выделены следующие входные факторы, влияющие на оценку агроклиматических условий для проведения сева яровых зерновых культур:

x_1 - весовая влажность почвы перед посевом (ВВПП), %;

x_2 - прогноз вероятности осадков декадный (ПВО), %;

x_3 - прогноз осадков декадный (ПО), мм;

x_4 - температура почвы перед посевом (ТППП), ºС;

x_5 - прогноз температуры воздуха декадный (ПТВ), ºС;

x_6 - вид почвы (ВП), число от 1 до 13, 1(Ч)-чернозем, 2(К)-каштановая, 3(ДК) дерново-карбонатный, 4(СЛ)- серая лесная, 5(БЛ) – бурая лесная, 6(Кр)-краснозем, 7(ДП)-дерново-подзолистая, 8(СП)- сильно подзолистая, 9(Т) – тундровая, 10(Г)-горная, 11(А)-арктическая, 12(Б)-болотная, 13(З)-засоленная;

x_7 - Разновидность почвы (РП), число от 1 до 9, 1(ПР)- песок рыхлый, 2(ПС)-песок связный, 3(С) - супесь, 4(СЛ) - суглинок легкий, 5(СС) – суглинок средний, 6(СТ) – суглинок тяжелый, 7(ГЛ)-глина легкая, 8(ГС)-глина средняя, 9(ГТ)- глина тяжелая;

x_8 - Глубина заделки семян (ГЗС), см.

По этим факторам необходимо получить комплексную оценку агроклиматических условий *Y*, которая является выходным результирующим показателем.

Примеры экспертных оценок приведены в приложении 4.

Оценивание агроклиматических условий для проведения сева является сложной задачей. Эксперту приходится учитывать не только значительное количество факторов, так как степень влияния каждого фактора в различных ситуациях не одинакова. Ряду факторов свойственна неоднозначность, когда до определенного порога они могут оказывать позитивное влияние на оценку агроклиматических условий для проведения сева зерновых культур, а после достижения порогового значения эти факторы начинают воздействовать негативно. Построение такой оценки осложняется еще и тем, что разбить модель на составные части и привести к иерархическому виду не представляется возможным, поскольку все входные показатели оказывают и совместное влияние на результирующий показатель, что обусловлено взаимосвязью между ними.

Учитывая вышесказанное, для создания алгоритма оценивания агроклиматических условий для проведения сева яровых зерновых культур, на наш взгляд, наиболее подходит метод построения логико-лингвистических моделей. Однако, чтобы полученная модель функционировала подобно эксперту, было необходимо построить 32 нелинейных полинома, которые представлены в приложении 5. В данном разделе показан способ получения первого уравнения. Все остальные полиномы были построены точно таким же способом. Ограничения входных факторных пространств (X1,…X8) для первой модели выглядят следующим образом:

$(x_1 > 2\%\ \&\ x_1 < 32\%)\ \&\ (x_2 > 10\%\ \&\ x_2 < 97\%)\ \&\ (x_3 > 0\text{мм}\ \&\ x_3 < 90\text{мм})\ \&\ (x_4 > 0\ ^{\circ}\text{C}\ \&\ x_4 < 5\ ^{\circ}\text{C})\ \&\ (x_5 > 0\ ^{\circ}\text{C}\ \&\ x_5 < 18\ ^{\circ}\text{C})\ \&\ (x_6 > 1\ \&\ x_6 < 13)\ \&\ (x_7 > 1\ \&\ x_7 < 5)\ \&\ (x_8 > 3\text{см}\ \&\ x_8 < 12\text{см})$. (3.5.2.1)

Соответствие значений входных ЛП показано в табл. 3.20, сокращенный вариант матрицы опроса для первой модели приводится в табл. 3.21, а его полный вариант в приложении 6.

Т а б л и ц а 3.20 **Соответствие значений входных ЛП для 1-й модели оценивания АКУ**

X_1			X_2		
Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале	Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале
Низкая ВВПП	(4, 2, 14)	-1	Низкий ПВО	(36, 26, 18.5)	-1
Средняя ВВПП	(18, 14, 14)	0	Средний ПВО	(54.5, 18.5, 18.5)	0
Высокая ВВПП	(32, 18, 0)	1	Высокий ПВО	(73, 18.5, 24)	1
X_3			X_4		
Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале	Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале
Низкий ПО	(25, 25, 32.5)	-1	Низкая ТППП	(2, 2, 1.5)	-1
Средний ПО	(57.5, 32.5, 32.5)	0	Средняя ТППП	(3.5, 1.5, 1.5)	0
Высокий ПО	(90, 32.5 ,0)	1	Высокая ТППП	(5, 1.5, 0)	1
X_5			X_6		
Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале	Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале
Низкий ПТВ	(2, 2, 8)	-1	Плодородн. ВП	(1, 0, 3)	1
Средний ПТВ	(10, 8, 8)	0	Средний ВП	(4, 3, 3)	0
Высокий ПТВ	(18, 8, 0)	1	Неплодород. ВП	(7, 3, 6)	-1
X_7			X_8		
Смысл	Значение	Значение моды в неч. шкале	Смысл	Значение	Значение моды в неч. шкале
Легкие РП	(3, 2, 2)	-1	Малая ГЗС	(4, 1, 1.5)	1
Лег.-сугл. РП	(4, 1, 1)	0	Средняя ГЗС	(5.5, 1.5, 1.5)	0
Суглин. РП	(5, 1, 0)	1	Высокая ГЗС	(7, 1.5, 5)	-1

Т а б л и ц а 3.21 **Матрица опроса для первой модели оценивания АКУ для проведения сева**

№	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	Y
1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.75
2	1	1	1	1	1	1	1	-1	0.7075
3	1	1	1	1	1	1	-1	1	0.6625
4	1	1	1	1	1	1	-1	-1	0.625
5	1	1	1	1	1	-1	1	1	0.7025
6	1	1	1	1	1	-1	1	-1	0.6675
7	1	1	1	1	1	-1	-1	1	0.62
8	1	1	1	1	1	-1	-1	-1	0.585
9	1	1	1	1	-1	1	1	1	0.59
10	1	1	1	1	-1	1	1	-1	0.56
11	1	1	1	1	-1	1	-1	1	0.51
12	1	1	1	1	-1	1	-1	-1	0.485
13	1	1	1	1	-1	-1	1	1	0.545
14	1	1	1	1	-1	-1	1	-1	0.515
…	…	…	…	…	…	…	…	…	…
256	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0.13

Математической обработкой результатов опроса по матрице планирования для первой модели получена следующая зависимость:

$$Y_1=0.4526+0.01035x_1+0.0468x_2+0.0462x_3+0.04587x_4+0.0581x_5+0.0124x_6+0.03685x_7+0.0155x_8-0.005x_1x_2+0.01024x_1x_6-0.0101x_2x_4+0.00706x_1x_2x_4+0.00776x_1x_2x_5-0.00344x_1x_3x_4-0.00505x_1x_3x_6+0.01393x_1x_4x_5+0.0055x_2x_4x_6-0.0046x_3x_4x_5-0.0036x_3x_5x_6+0.0041x_3x_6x_7 \quad (3.5.2.2)$$

Характеристики надежности и качества полученной математической модели (3.5.2.1) подтверждают ее практическую целесообразность и имеют следующий вид:

σ=0.0177; $\sigma^2_{ост}$ = 0.00034; $\sigma^2_{факт}$ = 0.1577; $F_{факт}$ = 461.2; $F_{табл} \approx$ 1.6; $d(A) =$ 0.072, где σ – стандартное отклонение, $\sigma_{ост}$ – остаточная дисперсия, $\sigma_{факт}$ - факторная дисперсия, $F_{факт}$– фактическая величина F-отношения (критерий Фишера), $F_{табл}$ – F-теоретическое (рассчитано по таблице значений F), $d(A)$ - коэффициент нечеткости эксперта.

Таким образом, на основе экспертных оценок построен алгоритм оценивания агроклиматических условий для проведения сева яровых зерновых культур, что является основой для дальнейшего определения таких

значимых показателей, как прогнозируемая урожайность и оценка рисков потерь урожая ЯЗК.

3.5.3 Прогнозирование урожайности яровых зерновых культур на основе предпосевной степени кондиционности семенного материала, агроклиматических условий и выбранной культуры возделывания.

Прогноз урожайности яровых зерновых является очень важной задачей в точном земледелии, и для правильности выбора норм высева приходится ориентироваться на этот показатель. На наш взгляд, только опыт и знания лучших специалистов агрономов и биологов способны наиболее эффективно помочь в решении задачи прогнозирования урожайности зерновых культур. В приложении 7 представлены матрицы опроса ведущих экспертов сельскохозяйственной отрасли.

Урожайность зерновых культур зависит от многих случайных и трудно формализуемых факторов, однако экспертами были выделены следующие основные входные факторы:

x_1 – показатель культуры возделывания яровых зерновых культур (КВ), 1 – «*Нормальный*» (хозяйственный), 2 – «*Высокоинтенсивный*», 3 – «*Высокоинтенсивный с элементами точного земледелия*»;

x_2 – оценка агроклиматических условий для проведения сева ЯЗК (АКУ), от 0 до 1;

x_3 – степень кондиционности семенного материала ЯЗК (СКСМ), от 0 до 1;

x_4 – сорт семян яровых зерновых культур (СС), 1 – «*Вторая репродукция*», 2 – «*Первая репродукция*», 3 – «*Элита*» или «*Суперэлита*»;

x_5 – Норма высева (НВ), млн. шт./га.

Прежде, чем перейти к построению модели прогнозирования урожайности яровых зерновых культур, обратим внимание, что краткое описание исследуемых в опыте [25] агротехнологий (вариантов возделывания ЯЗК) приведено во вступительной части данной главы.

Соответствие значений входных и выходныхЛП сведено в табл. 3.22.

Т а б л и ц а 3.22 **Соответствие значений входных и выходных ЛП**

X_1			X_2		
Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале	Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале
Хозяйствен. вариант	(1, 0, 1)	-1	Плохие АКУ	(0.35, 0.35, 0.15)	-1
Высокоинт. вариант	(2, 1, 1)	0	Средние АКУ	(0.5, 0.15, 0.15)	0
Высокоинт. вариант	(3, 1, 0)	1	Хорошие АКУ	(0.65, 0.15, 0.35)	1
X_3			X_4		
Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале	Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале
Низкая СКСМ	(0.35, 0.15, 0.15)	-1	Вторая репродукция	(1, 0, 1)	-1
Средняя СКСМ	(0.5, 0.15, 0.15)	0	Первая репродукция	(2, 1, 1)	0
Высокая СКСМ	(0.65, 0.15, 0.15)	1	Элита, суперэлита	(3, 1, 0)	1
X_5			Y		
Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале	Смысл	Значение	
Низкая НВ	(3, 0, 2)	-1	Низкая урожайность	(19, 5, 10)	
Средняя НВ	(5, 2, 2)	0	Средняя урожайность	(29, 10, 16)	
Высокая НВ	(7, 2, 2)	1	Высокая урожайность	(45, 16, 15)	

Итоговый вариант матрицы опроса экспертов со сводными оценками (прогнозами) урожайностей яровых зерновых культур представлен в таблице 3.23.

Т а б л и ц а 3.23 **Матрица опроса для прогнозирования урожайности ЯЗК**

№	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	Y
1	-1	-1	-1	-1	-1	14
2	1	-1	-1	-1	-1	14.5
3	-1	1	-1	-1	-1	15.5
4	1	1	-1	-1	-1	18
5	-1	-1	1	-1	-1	17
6	1	-1	1	-1	-1	21
7	-1	1	1	-1	-1	26
8	1	1	1	-1	-1	28.5
9	-1	-1	-1	1	-1	20
10	1	-1	-1	1	-1	23
11	-1	1	-1	1	-1	23.5
12	1	1	-1	1	-1	25.5
13	-1	-1	1	1	-1	21
14	1	-1	1	1	-1	26
15	-1	1	1	1	-1	34
16	1	1	1	1	-1	44
17	-1	-1	-1	-1	1	17
18	1	-1	-1	-1	1	22.5
19	-1	1	-1	-1	1	26
20	1	1	-1	-1	1	27.5
21	-1	-1	1	-1	1	29
22	1	-1	1	-1	1	24.5
23	-1	1	1	-1	1	29
24	1	1	1	-1	1	31
25	-1	-1	-1	1	1	26
26	1	-1	-1	1	1	26.5
27	-1	1	-1	1	1	28.5
28	1	1	-1	1	1	29
29	-1	-1	1	1	1	27.5
30	1	-1	1	1	1	40
31	-1	1	1	1	1	51.5
32	1	1	1	1	1	57

Математической обработкой результатов опроса по матрице планирования получена следующая зависимость:

$$Y=27+1.65625x_1+3.90625x_2+4.6875x_3+4.4375x_4+3.78125x_5+0.65625x_1x_3+0.78125x_1x_4+2.03125x_2x_3+1.28125x_2x_4+1.5x_3x_4+0.71875x_3x_5+0.53125x_4x_5+1.03125x_1x_3x_4+1.78125x_2x_3x_4 \quad (3.5.3.1)$$

Характеристики надежности и качества полученной математической модели (3.5.3.1) подтверждают ее практическую целесообразность и имеют следующий вид:

σ=2.11; $\sigma^2_{ост}$ = 8.42; $\sigma^2_{факт}$ = 201.27; $F_{факт}$ = 23.9; $F_{табл} \approx$ 2.33; $d(A) = 16$,

где σ – стандартное отклонение, $\sigma_{ост}$ – остаточная дисперсия, $\sigma_{факт}$ - факторная дисперсия, $F_{факт}$– фактическая величина F-отношения (критерий Фишера), $F_{табл}$ – F-теоретическое (рассчитано по таблице значений F), $d(A)$ - коэффициент нечеткости эксперта.

Таким образом, на основе знаний и опыта экспертов построена математическая модель для прогнозирования урожайности яровых зерновых культур перед проведением посевных работ, что является базой для решения задач исследования в диссертации.

3.5.4 Оценка рисков потерь урожая яровых зерновых культур на основе предпосевной степени кондиционности семенного материала, агроклиматических условий и выбранной культуры возделывания.

Риск потерь урожая ЯЗК приходится учитывать при определении нормы высева. Часто с целью минимизации рисков норму высева увеличивают.

Эксперты определили следующие основные входные факторы:

x_1 – показатель культуры возделывания яровых зерновых культур (КВ), 1 – «*Нормальный*» (хозяйственный), 2 – «*Высокоинтенсивный*», 3 – «*Высокоинтенсивный с элементами точного земледелия*»;

x_2 – оценка агроклиматических условий для проведения сева ЯЗК (АКУ), от 0 до 1;

x_3 – степень кондиционности семенного материала ЯЗК (СКСМ), от 0 до 1;

x_4 – сорт семян яровых зерновых культур (СС), 1 – «*Вторая репродукция*», 2 – «*Первая репродукция*», 3 – «*Элита*» или «*Суперэлита*»;

x_5 – Норма высева (НВ), млн. шт./га.

Соответствие значений входных и выходныхЛП сведено в табл. 3.24.

Т а б л и ц а 3.24 **Соответствие значений входных и выходных ЛП**

X_1			X_2		
Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале	Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале
Хозяйствен. вариант	(1, 0, 1)	-1	Плохие АКУ	(0.35, 0.35, 0.15)	-1
Высокоинт. вариант	(2, 1, 1)	0	Средние АКУ	(0.5, 0.15, 0.15)	0
Высокоинт. вариант	(3, 1, 0)	1	Хорошие АКУ	(0.65, 0.15, 0.35)	1
X_3			X_4		
Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале	Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале
Низкая СКСМ	(0.35, 0.15, 0.15)	-1	Вторая репродукция	(1, 0, 1)	-1
Средняя СКСМ	(0.5, 0.15, 0.15)	0	Первая репродукция	(2, 1, 1)	0
Высокая СКСМ	(0.65, 0.15, 0.15)	1	Элита, суперэлита	(3, 1, 0)	1
X_5			Y		
Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале	Смысл	Значение	
Низкая НВ	(3, 0, 2)	-1	Низкий уровень риска	(0.35, 0.1, 0.15)	
Средняя НВ	(5, 2, 2)	0	Средний уровень риска	(0.5, 0.15, 0.15)	
Высокая НВ	(7, 2, 2)	1	Высокий уровень риска	(0.65, 0.15, 0.1)	

В приложении 8 представлены матрицы опроса экспертов, а сводная матрица опроса в табл. 3.25.

Т а б л и ц а 3.25 **Матрица опроса для оценивания рисков потерь урожая ЯЗК**

№	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	Y
1	-1	-1	-1	-1	-1	0.725
2	1	-1	-1	-1	-1	0.69
3	-1	1	-1	-1	-1	0.65
4	1	1	-1	-1	-1	0.63
5	-1	-1	1	-1	-1	0.7
6	1	-1	1	-1	-1	0,65
7	-1	1	1	-1	-1	0.575
8	1	1	1	-1	-1	0.54
9	-1	-1	-1	1	-1	0.65
10	1	-1	-1	1	-1	0.62
11	-1	1	-1	1	-1	0.575
12	1	1	-1	1	-1	0.53
13	-1	-1	1	1	-1	0.65
14	1	-1	1	1	-1	0.59
15	-1	1	1	1	-1	0.5
16	1	1	1	1	-1	0.47
17	-1	-1	-1	-1	1	0.7
18	1	-1	-1	-1	1	0.65
19	-1	1	-1	-1	1	0.575
20	1	1	-1	-1	1	0.575
21	-1	-1	1	-1	1	0.65
22	1	-1	1	-1	1	0.575
23	-1	1	1	-1	1	0.48
24	1	1	1	-1	1	0.5
25	-1	-1	-1	1	1	0.57
26	1	-1	-1	1	1	0.52
27	-1	1	-1	1	1	0.6
28	1	1	-1	1	1	0.57
29	-1	-1	1	1	1	0.58
30	1	-1	1	1	1	0.5
31	-1	1	1	1	1	0.38
32	1	1	1	1	1	0.35

Математической обработкой результатов опроса по матрице планирования получена следующая зависимость:

$$Y=0.57875-0.01875x_1-0.0475x_2-0.03563x_3-0.0378x_4-0.0303x_5+0.0081x_1x_2$$
$$-0.00344x_1x_4-0.02125x_2x_3+0.00344x_2x_4-0.01094x_3x_5+0.00375x_1x_2x_3+0.0053x_1x_2x_5$$
$$-0.0122x_2x_3x_4-0.00844x_2x_3x_5+0.0075x_2x_4x_5 \qquad (3.5.4.1)$$

Характеристики надежности и качества полученной математической зависимости (3.5.4.1) подтверждают ее практическую целесообразность и имеют следующий вид:

σ=0.0153; $\sigma^2_{ост}$ = 0.00047; $\sigma^2_{факт}$ = 0.0154; $F_{факт}$ = 32.565; $F_{табл}$ = 2.35; $d(A) = 0.15$,

где σ – стандартное отклонение, $\sigma_{ост}$ – остаточная дисперсия, $\sigma_{факт}$ - факторная дисперсия, $F_{факт}$– фактическая величина F-отношения (критерий Фишера), $F_{табл}$ – F-теоретическое (рассчитано по таблице значений F), $d(A)$ - коэффициент нечеткости эксперта.

Таким образом, с помощью методики построения логико-лингвистических моделей на основе знаний и опыта экспертов построена математическая модель для оценивания рисков потерь урожая яровых зерновых культур при выборе норм высева, что является основой для решения основной задачи исследования - определение оптимальных норм высева.

3.5.5 Оценка условий проведения сева яровых зерновых культур на основе модели Мамдани с учетом экспертной информации

Для решения задачи оценивания условий проведения сева с учетом прогнозируемой урожайности яровых зерновых культур, рисков потерь урожая и выбранной нормы высева был выбран подход к проектированию и разработке с использованием механизма нечеткого логического вывода, называемого механизмом Мамдани [121-123]. Такой подход позволяет учитывать слабоструктурированный характер экспертной информации.

Исследование состояло из нескольких этапов. На первом этапе производилось определение входных и выходных переменных.

На втором этапе была спроектирована структурная схема создаваемого нечеткого контроллера, предназначенного для оценивания условий проведения сева.

Третий этап посвящен разработке базы нечетких правил.

Четвертый этап включает в себя процедуру дефаззификации выходного значения, посредством которой осуществляется обратное преобразование результирующей функции принадлежности (имеющей максимальное значение) в числовое значение выходной переменной.

Итак, на вход создаваемой нечеткой модели подаются три лингвистические переменные:

x_1 – прогнозируемая урожайность яровых зерновых культур, вещественная переменная от 0 до 1;

x_2 – оценка уровня рисков потерь урожая ЯЗК, вещественная переменная от 0 до 1;

x_3 – выбранная норма высева, млн. шт./га.

Выходным результирующим показателем является комплексная оценка условий для проведения сева на основе экспертных мнений, соответствующая конкретным входным условиям.

База нечетких правил Мамдани представляет собой набор правил следующего типа: IF “утверждение (предположение или условие)” THEN “результат. Такие правила в контексте баз знаний БЗ еще называют продукционными правилами. База нечетких правил Мамдани содержит лингвистические правила, использующие функции принадлежности для описания применяемых концепций. Степень истинности или степень активизации правила принимает значение в диапазоне от 0 до 1 и вычисляется из значения степени принадлежности утверждения правила. От нее напрямую зависит результат данного правила [67].

Моды нечетких терм-множеств, описываемых треугольными функциями принадлежности, и крайних точек ядер нечетких терм-множеств, описываемых трапециевидными функциями принадлежности, входных переменных были поставлены в соответствие комплексные оценки условий проведения сева яровых зерновых культур. Эти сопоставления сделаны с учетом экспертных мнений и сведены в табл. 3.26.

Т а б л и ц а. 3.26 **Характеристики терм-множеств лингвистических входных переменных**

Наименование терм-множеств лингвистических входных переменных	Наименование термов и их обозначение	Фактическое значение	Мода или ядро терм-множества (нормализованное значение)
Прогнозируемая урожайность ЯЗК, 0-1, ПУ ЯЗК	ОНПУ ЯЗК (очень низкая)	14	0.14
	НПУ ЯЗК (низкая)	19	0.19
	ПУ ЯЗК НС (ниже средней)	24	0.24
	СПУ ЯЗК (средняя)	29	0.29
	ПУ ЯЗК ВС (выше средней)	34	0.34
	ВПУ ЯЗК (высокая)	45	0.45
	ОВПУ ЯЗК (очень высокая)	60	0.6
Уровень риска потерь урожая ЯЗК, 0-1, УРПУ ЯЗК	НУРПУ ЯЗК (низкий)	0.35	0.35
	УРПУ ЯЗК НС (ниже среднего)	0.425	0.425
	СУРПУ ЯЗК (средний)	0.5	0.5
	УРПУ ЯЗК ВС (выше среднего)	0.575	0.575
	ВУРПУ ЯЗК (высокий)	0.65	0.65
	ОВУРПУ ЯЗК (очень высокий)	0.8	0.8
Норма высева, млн. шт/га, НВ	ННВ (низкая)	3	0.3
	СНВ (средняя)	5	0.5
	ВНВ (высокая)	7	0.7
	ОВНВ (очень высокая)	8	0.8

Полная база правил для создаваемой нечеткой модели для оценивания условий для проведения сева яровых зерновых культур представлена в приложении 9, а сокращенная версия имеет следующий вид:

№	X1(Прогнозируемая урожайность, Ц/га)		X2(Уровень риска потерь урожая)		X3(Норма высева, млн. шт/га)		Комплексная оценка
1.	14	&	очень высокий риск	&	8 (*очень высокая*)	=>	0.045
2.	19	&	очень высокий риск	&	8 (*очень высокая*)	=>	0.075
3.	24	&	очень высокий риск	&	8 (*очень высокая*)	=>	0.19
4.	29	&	очень высокий риск	&	8 (*очень высокая*)	=>	0.255
5.	34	&	очень высокий риск	&	8 (*очень высокая*)	=>	0.315
6.	45	&	очень высокий риск	&	8 (*очень высокая*)	=>	0.355
…	…	…	…	…	…	…	…
168.	60	&	низкий риск	&	3 (низкая)	=>	0.93

Графики соответствия входных значений выходным показаны на рисунках 3.22, 3.23, 3.24.

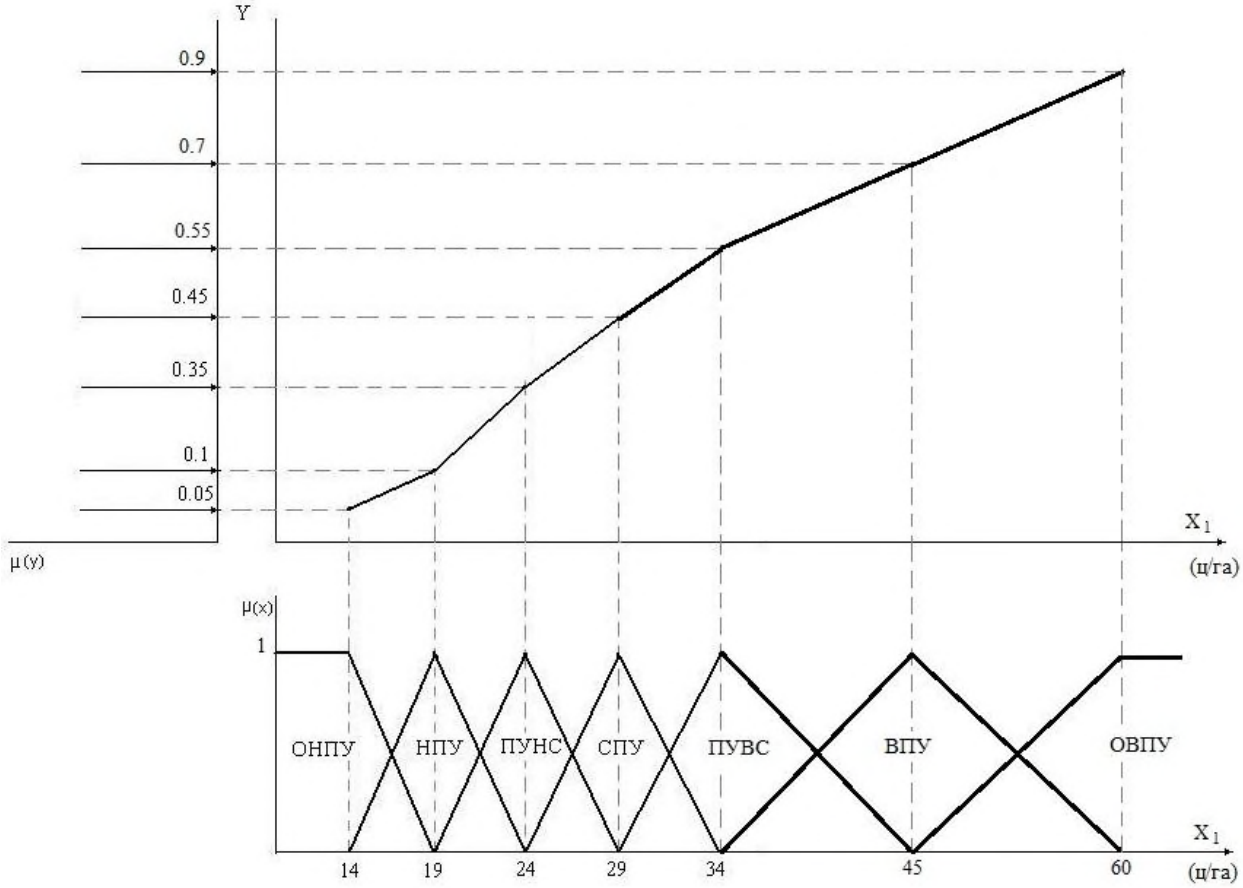


Рис.3.22 Соответствие входного показателя X_1 (прогнозируемая урожайность яровых зерновых культур) выходным значениям модели.

Механизм логического вывода состоит из следующих подэтапов [67]:

1. Фаззификации, которая заключается в выведении функций принадлежности, используемых в утверждениях (предположениях или условиях) правил.

2. Вычисления степени активизации правил на основе оценки утверждений каждого правила.

3. Вывод результата с помощью оператора выбор минимума. Результатом является минимальное значение степеней истинности предложений. Результирующее нечеткое множество строится с помощью

поиска минимальных значений среди степеней активизации функций принадлежности и сортировки «урезанных» функций принадлежности.

4. Объединения нечетких множеств, полученных в результате применения каждого правила с целью получения общего выходного нечеткого множества. Так как правила связаны логической операцией “OR”, то ищется максимальное значение среди результирующих функций принадлежности для каждого правила.

Укажем, что фаззификация - это преобразование числовых значений входных переменных в степени принадлежности к нечеткому множеству.

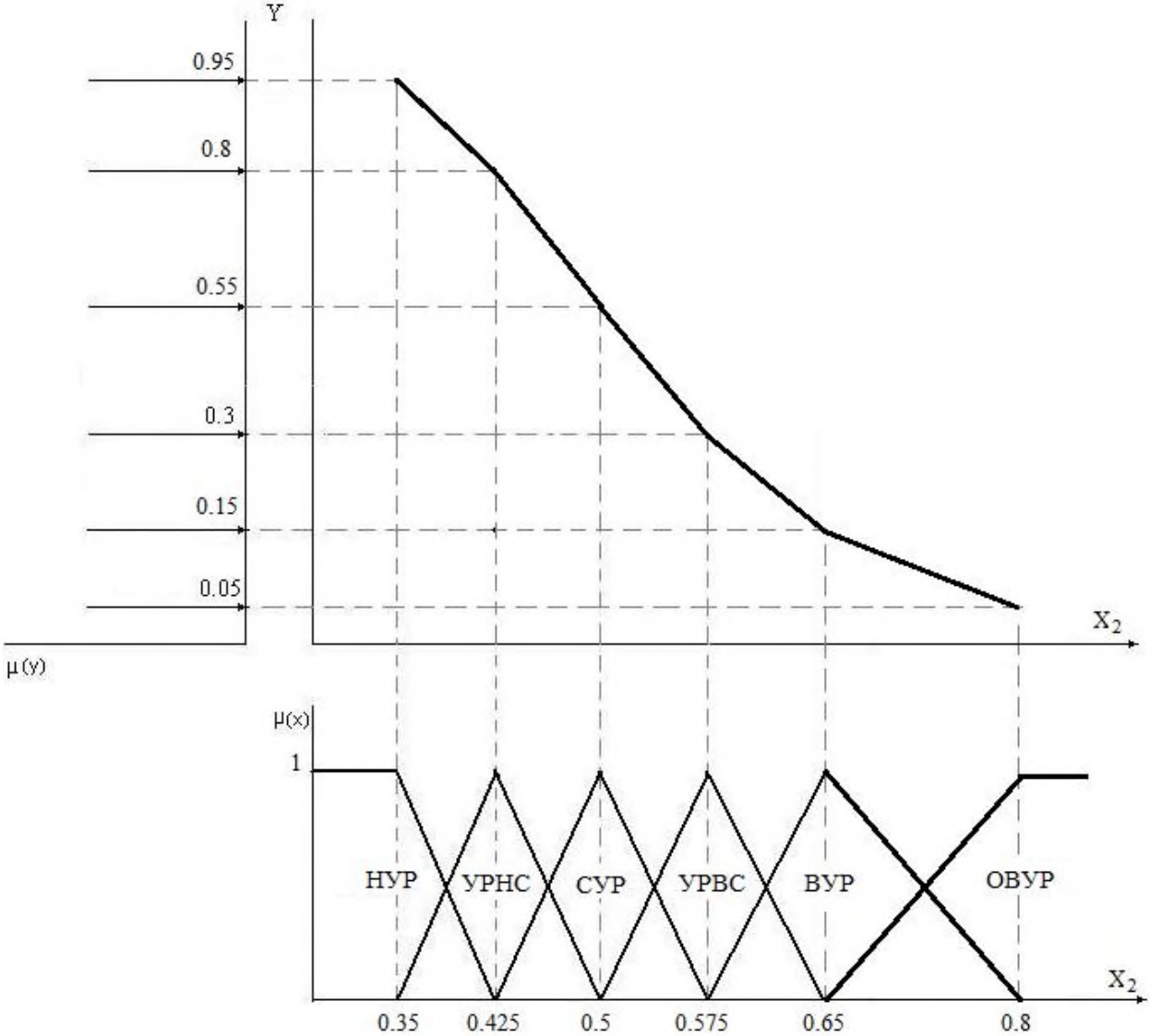


Рис.3.23 Соответствие входного показателя X_2 (уровень риска потерь урожая яровых зерновых культур) выходным значениям модели.

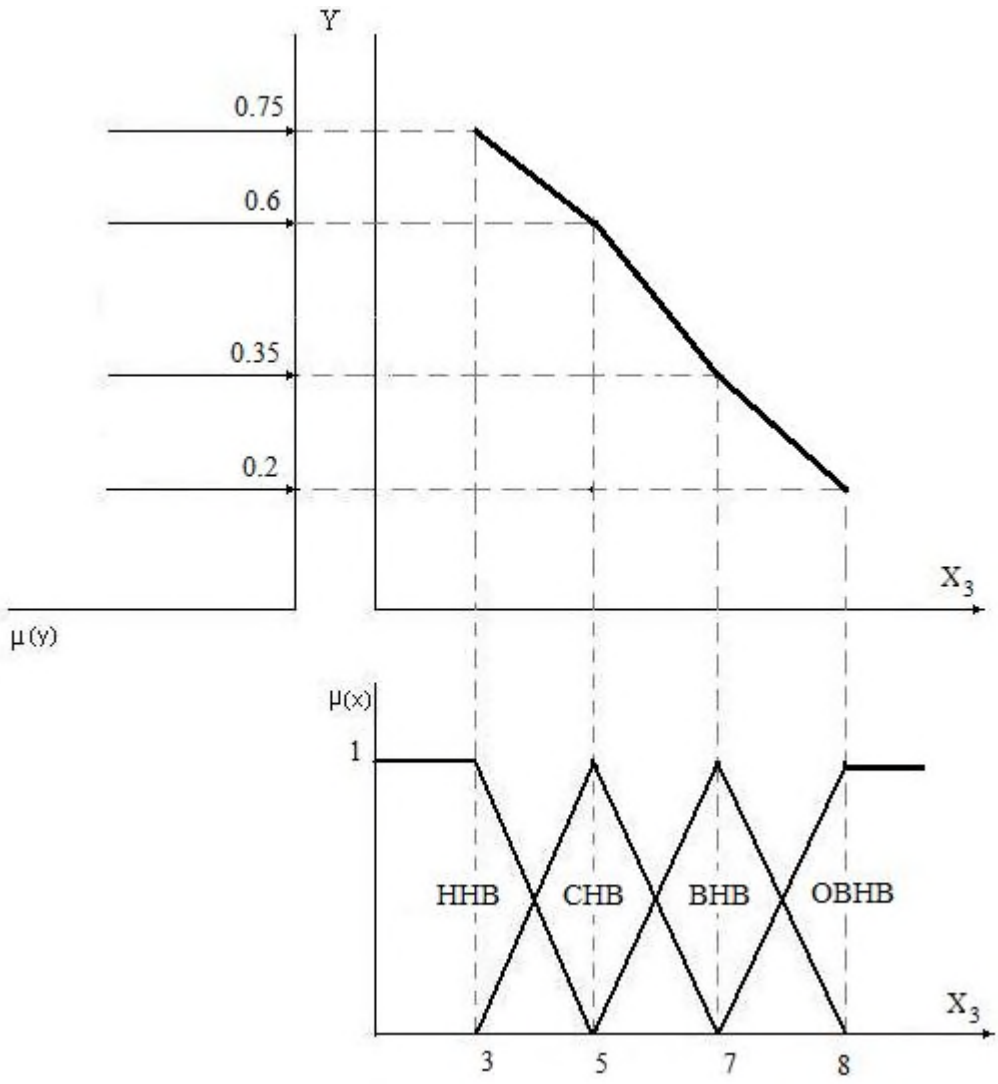


Рис.3.24 Соответствие входного показателя X_3 (норма высева) выходным значениям модели.

На четвертом этапе, производится дефаззификация входов и выходов, с помощью которой осуществляется обратное преобразование результирующей функции принадлежности (имеющей максимальное значение) в числовое значение выходной переменной. Для дефаззификации в работе используется метод, известный в нечетком моделировании, как *метод высот* [67]. Его также называют методом одноэлементных множеств.

Результат дефазификации с использованием метода высот может быть вычислен по формуле:

$$y^* = \frac{\sum_{j=1}^{m} y_j \, \mu_{B_j^*}(y)}{\sum_{j=1}^{m} \mu_{B_j^*}(y)},$$

где m – число правил

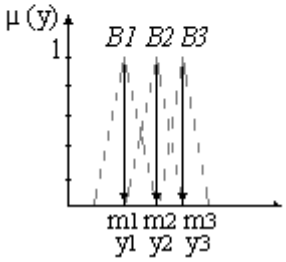


Рис 3.25 Замена нечетких множеств Bj одноэлементными множествами (синглетонами)

Стоимость вычислений метода высот значительно меньше, чем у другого популярного метода дефазификации – метода центра тяжести.

Метод высот очень часто используют на практике, особенно в нейро-нечетких сетях. Он прост и очень эффективен.

Если для выходных термов в функциях принадлежности обеспечивается выполнение условия разбиения единицы, то суммарная степень принадлежности для выходных параметров *Y* всегда равна 1, тогда знаменатель в формуле можно просто отбросить.

Таким образом, на основе экспертных оценок построен алгоритм оценивания условий для проведения сева яровых зерновых культур, что обеспечивает поиск оптимальных норм высева для конкретных условий.

При этом выбираемая норма высева представляется, как расход, а прогноз урожайности зерновых культур представляется, как доход, тогда степень риска потерь урожая должна обеспечивать баланс между расходом и доходом. Выходным результирующим показателем данного алгоритма

является комплексная оценка условий для проведения сева яровых зерновых культур, которая может принимать вещественные значения от 0 (очень плохие условия) до 0.93 (очень хорошие условия). Варьируя различные нормы высева с некоторым шагом, например, начиная от 3 млн. всхожих зерен на гектар и до 8 млн., тем самым меняют и значения интегрального показателя, а оптимальной нормой высева семян для конкретных условий при проведении посевных работ принимается та, при которой интегральный (комплексный) показатель будет максимальным.

3.5.6 Компьютерная программа для поиска оптимальных норм высева семян яровых зерновых культур.

Для практического использования нечеткого классификатора, предназначенного для оценки рисков потерь урожая при проведении сева, была разработана компьютерная программа «Поиск оптимальных норм высева семян яровых зерновых культур». Она была создана с использованием языков программирования C# и C. Многие операционные системы (Microsoft Windows XP, Microsoft Windows 2003, Microsoft Windows Vista, Microsoft Windows 7) могут поддерживать этот прототип программного обеспечения. На рис.3.26 представлена блок-схема разработанного алгоритма поиска оптимальной нормы высева семян ЯЗК. Интерфейс программы показан на рис. 3.27.

Входными данными являются биофизические характеристики семян, агроклиматические показатели, а также показатели качества проведения сева. К выходным данным относится, получаемая в результате процессинга описываемой в данной работе экспертной системы, оценка рисков потерь урожая при проведении сева в конкретных условиях.

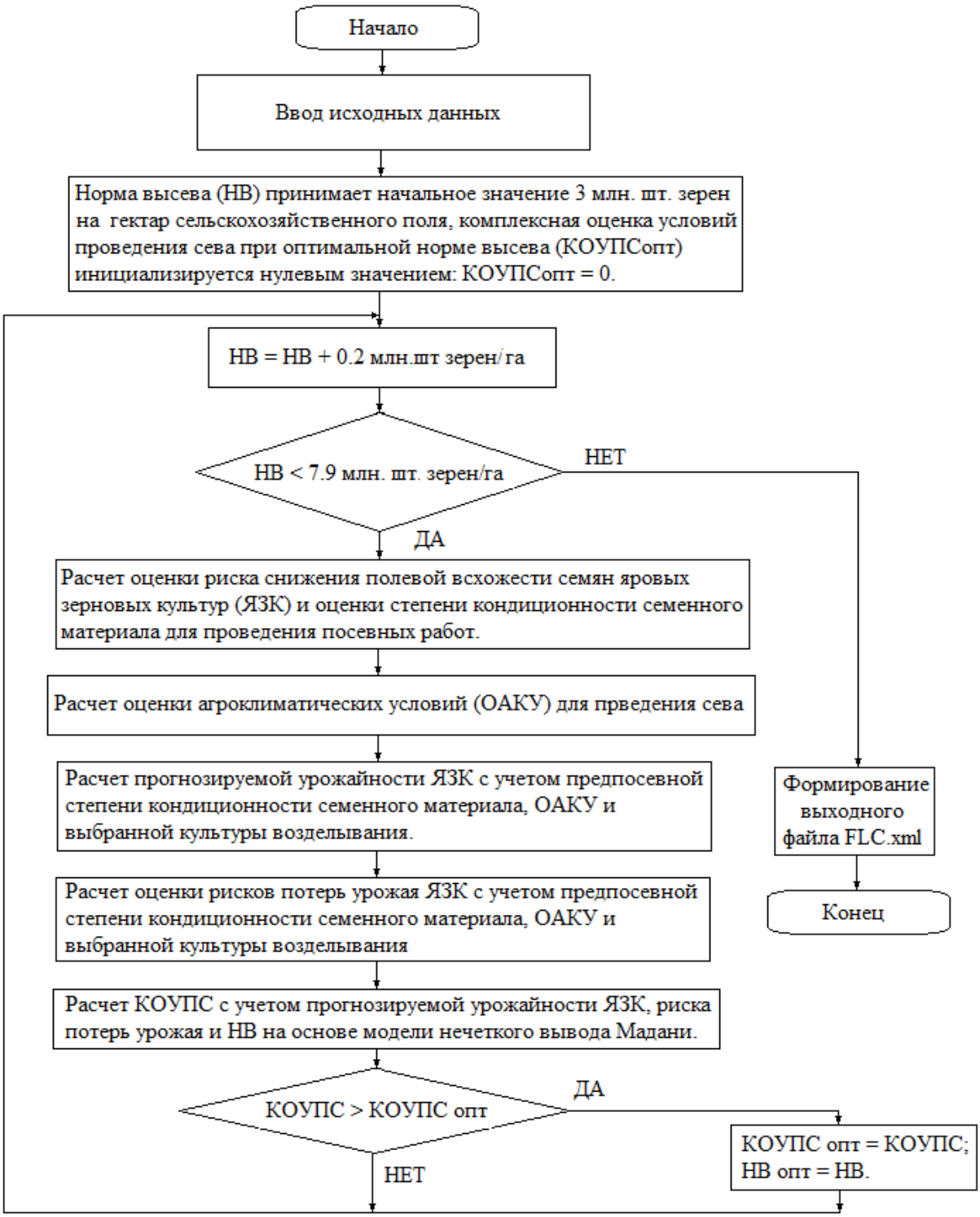


Рис.3.26 Блок-схема алгоритма поиска оптимальной нормы высева семян ЯЗК

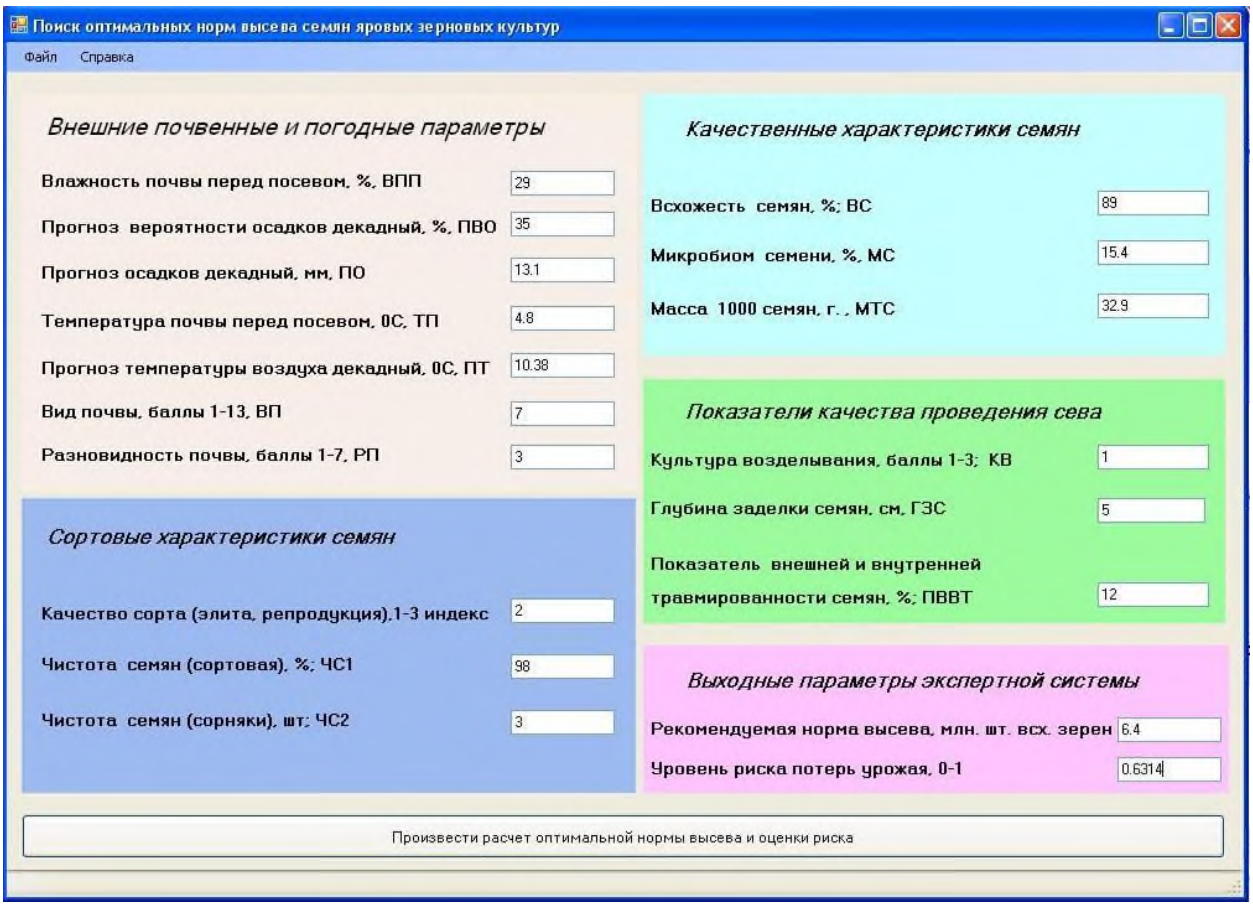


Рис.3.27 Интерфейс программы «Поиск оптимальных норм высева семян яровых зерновых культур»

Таким образом, для практического использования созданной многомодельной методики для определения оптимальных норм высева семян ЯЗК и оценивания рисков потерь урожая перед проведением посевных работ разработана компьютерная программа, которая позволяет существенно сократить время на проведение анализа, делает оценки менее зависимыми от предпочтений экспериментаторов и создает условия для более обоснованного принятия управленческих решений.

3.6. Выводы по главе 3.

По результатам проведенных исследований были решены следующие задачи, обеспечивающие достижение цели диссертации:

1) разработан алгоритм оптимизации норм высева семян яровых зерновых культур для заданных условий сева;

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

Глава 4. Апробация моделей, алгоритмов и программ по оптимизации норм высева

В данной главе приводятся:

- апробация спроектированной интеллектуальной системы на основе методов *построения логико-лингвистических моделей на экспертных знаниях* и *минимальных средневзвешенных отклонений* по схеме Ли – Ванга, предназначенной для оценки уровня рисков снижения полевой всхожести при посеве зерновых культур с учетом разнокачественности семенного материала, и в соответствии с этим приводится пример применения предложенной методологии для оценки уровня рисков снижения полевой всхожести в различных регионах РФ (по данным филиалов ФГБУ «Россельхозцентр» за 2012-2014 годы);

- проведен сравнительный анализ результатов по рассматриваемым моделям;

- результаты расчетов поиска оптимальных норм высева в Меньковской опытной станции Агрофизического НИИ за 2006- 2013 годы и их сравнение с фактическими.

4.1. Применение созданных нечетких моделей для оценки рисков снижения полевой всхожести семян яровых зерновых культур перед проведением посевных работ.

4.1.1. Оценка рисков снижения полевой всхожести семян яровых зерновых культур при проведении сева.

Необходимо с помощью созданной программы «Ассистент агронома» произвести расчеты уровней риска снижения полевой всхожести семян ЯЗК при посеве на основе качественных показателей согласно данным филиалов ФГБУ «Россельхозцентр» для различных округов РФ за 2012-2014 годы. Набор входных признаков включен в таблицу 3.17 в п.3.4.1 главы 3.

Провести анализ полученных результатов.

Прототип программы «Ассистент агронома» с использованием логико – лингвистической модели (3.4.1.2) и формулы (3.4.1.1) был применен для анализа условий проведения сева на основе выборочных статистических данных, сведенных в табл. 4.1 (согласно данным филиалов ФГБУ «Россельхозцентр» для анализируемых предпосевных состояний семян яровых зерновых культур для различных регионов и округов РФ за 2012-2014 годы). В таблице 4.1 также показаны результаты оценивания экспертами.

Т а б л и ц а 4.1 **Результаты оценивания условий для проведения сева экспертами и с использованием программы "Ассистент агронома"**

№ п/п условия	Входные переменные						Результаты оценивания в лингвистической форме	
	МТС	ЧС1	ЧС2	ВС	ПВВТ	МС	Уровень риска оценивался экспертами	Уровень риска рассчитывался программой
1	45	96	50	92	34	30	выше среднего	выше среднего
2	20	99	50	82	20	30	высокий	высокий
3	20	96	50	87	20	30	высокий	высокий
4	45	96	50	82	34	18	высокий	выше среднего-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	высокий	выше среднего-высокий
8	20	96	5	82	20	18	выше среднего	выше среднего
9	45	96	50	92	20	18	средний	средний
10	35.8	96.4	46	83	37.2	19.4	выше среднего-высокий	высокий
11	33.8	97.4	28	86	30.1	27.4	выше среднего	выше среднего
12	38.8	95.95	51	87	34.6	14.2	средний-выше среднего	выше среднего
13	41.2	95.6	54	91	20.1	10.2	выше среднего	средний
14	39	96.8	31	90	22.2	11.7	средний	ниже среднего-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	выше среднего	средний
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	выше среднего	низкий
22	36.2	99.4	4	92	19.4	12.4	ниже среднего	низкий - ниже среднего
23	55	95	70	80	40	33	высокий	высокий
24	11.5	96.8	32	82	31	29	очень высокий	высокий - очень высокий

4.1.2 Взаимосвязь между результатами классификации и уровнями рисков проведения сева.

На основе информации, полученной от экспертов (выборочные листки опроса экспертов приведены в приложение 1), мы определили взаимосвязь между результатом классификации, т.е. комплексной оценкой условий проведения сева ЯЗК и интервалом значений возможных уровней рисков.

Полученные взаимосвязи оценок сведены в таблице 4.2. Следует понимать, что это лишь приближенные отношения, которые соответствуют представлениям об объекте исследования конкретным экспертам, имеющим свои субъективные предпочтения.

Т а б л и ц а 4.2 **Связь значений комплексной оценки классификации и интервалам уровней рисков проведения сева**

Значения комплексной оценки (градации)	Интерпретация комплексной оценки, выраженная в лингвистической форме	Интервалы субъективных вероятностей того, что не взойдут, полученные на основе экспертных мнений
0,2	Очень низкий уровень риска	$0\% \le p < 8\%$
0,275	Между очень низким уровнем риска и низким	$8\% \le p < 10\%$
0,35	Низкий уровень риска	$10\% \le p < 15\%$
0,425	Уровень риска ниже среднего	$15\% \le p < 18\%$
0,5	Средний уровень риска	$18\% \le p < 23\%$
0,575	Уровень риска выше среднего	$23\% \le p < 28\%$
0,65	Высокий уровень риска	$28\% \le p < 35\%$
0,725	Уровень риска между высоким и очень высоким	$35\% \le p < 85\%$
0,8	Очень высокий уровень риска	$85\% \le p < 100\%$

4.1.3. Анализ полученных результатов оценивания при посеве рисков снижения полевой всхожести семян яровых зерновых культур

Результаты нечеткой классификации оценивания при посеве риска снижения полевой всхожести семян ЯЗК на основе биофизических показателей с применением логико – лингвистической модели (3.4.1.2) совпали с результатами экспертной классификации для 19 условий проведения сева из 24 и не совпали для 5 условий. Такой результат можно считать вполне приемлемым, если учесть, что для классов "УР ниже среднего"(УР – уровень риска) и "Средний УР", а также "УР выше среднего" "Высокий УР" наблюдается существенное перекрытие и они являются очень

трудноразличимыми, а также что в процессе оценки экспертом могли быть допущены ошибки.

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 такого агроприема, каким является сев зерновых культур, таким семенам требуются комфортные внешние погодно-почвенные 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.

4.2. Сравнительный анализ двух предложенных алгоритмов расчетов уровней риска снижения полевой всхожести семян яровых зерновых культур при посеве

В таблице 4.1 показаны результаты анализа условий для проведения сева с использованием программы «Ассистент агронома». В таблицу 4.3 сведены те же самые исходные данные, но анализ производился на основе метода многоатрибутивной сравнительной оценки по схеме Ли – Ванга и на базе логико-лингвистического подхода.

Результаты нечеткой классификации оценки рисков снижения полевой всхожести яровых зерновых культур с применением многоатрибутивного анализа совпали с результатами экспертной классификации для 18 условий проведения сева из 24, а при использовании логико-лингвистической модели (3.4.1.2) и формулы (3.4.1.1) 19 совпадений из 24.

Т а б л и ц а 4.3 **Результаты анализа условий для проведения сева с использованием многоатрибутивного анализа по схеме Ли-Ванга и логико-лингвистического подхода**

№ п/п	Входные переменные						Результаты оценивания в лингвистической форме	
	МТС	ЧС1	ЧС2	ВС	ПВВТ	МС	Уровень риска согласно многоатрибутивному анализу	Уровень риска согласно логико-лингвистической модели
1	45	96	50	92	34	30	выше среднего	выше среднего
2	20	99	50	82	20	30	средний	высокий
3	20	96	50	87	20	30	высокий	высокий
4	45	96	50	82	34	18	высокий	выше среднего-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	высокий	выше среднего-высокий
8	20	96	5	82	20	18	высокий	выше среднего
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	средний-выше среднего	выше среднего
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	выше среднего	средний
14	39	96.8	31	90	22.2	11.7	средний	ниже среднего-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	выше среднего	средний
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	ниже среднего	низкий
22	36.2	99.4	4	92	19.4	12.4	низкий	низкий - ниже среднего
23	55	95	70	80	40	33	высокий	высокий
24	11.5	96.8	32	82	31	29	высокий	высокий - очень высокий

Анализ на основе двух предложенных методов показал, что модель (3.4.1.2), построенная с помощью логико - лингвистического подхода, вместе с формулой (3.4.1.1), дают наилучшие распознавание, но и стоимость такого моделирования существенно выше. Другой предложенный метод минимальных средневзвешенных отклонений по схеме Ли - Ванга также обеспечивают достаточную классификацию, но все же задачу поиска различий или сходства между такими классами, как "Высокий УР", "УР

между высокий и очень высокий" и "Очень высокий УР", а также между "УР выше среднего" и "Высокий УР" он решает несколько менее точно.

4.3. Проведение практических расчетов для поиска оптимальных норм высева семян яровых зерновых культур в Меньковском филиале Агрофизического НИИ за 2006- 2013 годы.

4.3.1. Поиск оптимальных норм высева семян яровых зерновых культур на основе предложенным моделей и алгоритмов.

Согласно данным опытов, проведенных Лекомцевым П.В. и Воропаевым В.В. в Меньковском филиале Агрофизического НИИ за 2006-2013 годы, сформируем 22 варианта для принятия решений о выборе норм высева семян яровых зерновых культур. Основные статистические данные сведены в табл. 4.4. В Меньковском филиале Агрофизического НИИ почвы являются дерново-подзолистыми. Тип почвы - супесь. Глубина заделки семян для всех вариантов одинакова и составила 5 см.

На первом шаге для каждого варианта следует произвести расчет комплексной оценки степени кондиционности семенного материала с использованием модели (3.4.1.2). Результаты расчета свидетельствуют об использовании в большинстве вариантов достаточно высококондиционного семенного материала и показаны в табл. 4.5. В вариантах 6, 10-14 сеялись семена первой репродукции, однако качество семенного материала во всех случая было в пределах допустимых уровней.

Т а б л и ц а 4.4 **Данные вариантов полевых опытов в Меньковском филиале Агрофизического НИИ за 2006-2013 годы**

№ п./п	Сорт пшеницы	Год посева	Вариант агротехнолог.	МТС (г)	ЧС1 (%)	ВС (%)	ВППП (%)	ПО (мм)	ПТВ (°С)	Факт. урожайн. (Ц/га)	Норма высева (млн шт/га)
1	Ленингр.-97 (суперэлита)	2006	Высокоинтенс. + ТЗ	31.8	99.92	92	34.8	3	13.2	40.65	7.5
2	Ленингр.-97 (элита)	2007	Высокоинтенс. + ТЗ	33.9	99.76	92	33	63.5	8.12	47	6
3	Ленингр.-97 (элита)	2007	Хозяйственный	33.9	99.76	92	33	63.5	8.12	30.7	6
4	Эстер (элита)	2009	Хозяйственный	34	99.57	93	29	13.1	10.38	29.5	6.5
5	Красноуф-100 (элита)	2009	Хозяйственный	38.2	99.22	94	29	13.1	10.38	33.5	6
6	Ленингр.-97 (перв. репр.)	2009	Хозяйственный	32.9	98	89	29	13.1	10.38	28.3	6.9
7	Эстер (элита)	2009	Высокоинтенс. + ТЗ	34	99.57	93	29	13.1	10.38	47.43	6.5
8	Эстер (элита)	2010	Высокоинтенс.	36.8	99.25	96	23.145	16.7	11.87	32.4	6
9	Эстер (элита)	2010	Высокоинтенс. + ТЗ	36.8	99.25	96	23.145	16.7	11.87	40.75	6
10	Красноуф-100(1-я реп)	2010	Хозяйственный	39.8	99.19	83	23.145	16.7	11.87	24.3	6.5
11	Красноуф-100(1-я реп)	2010	Высокоинтенс.	39.8	99.19	83	23.145	16.7	11.87	29.7	6.5
12	Красноуф-100(1-я реп)	2010	Высокоинтенс. + ТЗ	39.8	99.19	83	23.145	16.7	11.87	32.55	6.5
13	Эстер (перв. репр.)	2011	Хозяйственный	36.5	99.06	88	30.08	6.3	9.76	25.5	6.5
14	Эстер (перв. репр.)	2011	Высокоинтенс.	36.5	99.06	88	30.08	6.3	9.76	30.5	6.5
15	Эстер (элита)	2012	Хозяйственный	34.8	99.82	92	22.016	10.5	14.43	24.5	6.5
16	Эстер (элита)	2012	Высокоинтенс.	34.8	99.82	92	22.016	10.5	14.43	29.5	6.5
17	Эстер (элита)	2012	Высокоинтенс. + ТЗ	34.8	99.82	92	22.016	10.5	14.43	34	6.5
18	Дарья (элита)	2013	Хозяйственный	36.4	99.5	95	29.05	70.4	14.37	32.5	6
19	Тризо (перв. репр.)	2013	Хозяйственный	38.7	99.72	96	29.05	70.4	14.37	25.56	6
20	Тризо (перв. репр.)	2013	Высокоинтенс.	38.7	99.72	96	29.05	70.4	14.37	41.2	6
21	Дарья (элита)	2013	Высокоинтенс. + ТЗ	36.4	99.5	95	29.05	70.4	14.37	46.9	6
22		2013	Высокоинтенс.	36.4	99.5	95	29.05	70.4	14.37	41	6

Т а б л и ц а 4.5 **Расчет комплексной оценки степени кондиционности семенного материала**

№ варианта	МТС (г)	ЧС1 (%)	ЧС2 (шт/кг)	ВС (%)	ПВВТ (%)	МС (%)	Степень кондиционности
1	31.8	99.92	0	92	2	9.5	0.7428
2	33.9	99.76	0	92	4	10.7	0.7223
3	33.9	99.76	0	92	4	10.7	0.7223
4	34	99.57	0	93	3	10	0.7457
5	38.2	99.22	0	94	3	10.3	0.7625
6	32.9	98	3	89	12	15.4	0.5861
7	34	99.57	0	93	3	10	0.7457
8	36.8	99.25	0	96	4	11	0.7671
9	36.8	99.25	0	96	4	11	0.7671
10	39.8	99.19	5	83	22.5	18.2	0.4809
11	39.8	99.19	5	83	22.5	18.2	0.4809
12	39.8	99.19	5	83	22.5	18.2	0.4809
13	36.5	99.06	3	88	18	16.5	0.5547
14	36.5	99.06	3	88	18	16.5	0.5547
15	34.8	99.82	0	92	4	10.5	0.727
16	34.8	99.82	0	92	4	10.5	0.727
17	34.8	99.82	0	92	4	10.5	0.727
18	36.4	99.5	0	95	3	9.8	0.7753
19	38.7	99.72	3	96	12	12.5	0.7082
20	38.7	99.72	3	96	12	12.5	0.7082
21	36.4	99.5	0	95	3	9.8	0.7753
22	36.4	99.5	0	95	3	9.8	0.7753

Опираясь на данные полевых экспериментов (табл. 4.6), проведенных в Меньковском филиале Агрофизического НИИ за 2006-2011 годы, можно уверенно говорить о том, что высококондиционный семенной материал наряду с высокоинтенсивным вариантом агротехнологий обеспечивают наибольшие всходы и, соответственно, снижает уровень риска снижения полевой всхожести.

Т а б л и ц а 4.6 **Связь между степенью кондиционности семенного материала, выбранным вариантом агротехнологии и всходами**

№ варианта	Сорт пшеницы	Год посева	Вариант агротехнолог.	Степень кондиционности семенного материала	Уровень риска снижения полевой всхожести	Всходы
1	Ленингр.-97 (суперэлита)	2006	Высокоинтенс. + ТЗ	0.7428	0.2572	122
7	Эстер (элита)	2009	Высокоинтенс. + ТЗ	0.7457	0.2543	142
8	Эстер (элита)	2010	Высокоинтенс.	0.7671	0.2329	124
9	Эстер (элита)	2010	Высокоинтенс. + ТЗ	0.7671	0.2329	135
11	Красноуф-100(1-я реп)	2010	Высокоинтенс.	0.4809	0.5191	102
12	Красноуф-100(1-я реп)	2010	Высокоинтенс. + ТЗ	0.4809	0.5191	142
14	Эстер (перв. репр.)	2011	Высокоинтенс.	0.5547	0.4453	134

На втором шаге для каждого варианта требуется вычислить оценки агроклиматических условий для проведения сева с применением полученной в п.3.5.2 главы 3 модели (3.5.2.2), если входные показатели соответствуют условиям (3.5.2.1), в противном случае следует воспользоваться полиномами, приведенными в приложении 5. Результаты расчета сведены в табл. 4.7 и они свидетельствуют о том, что АКУ для проведении сева в большинстве вариантов оставляют желать лучшего. Однако в условиях северо-запада, как правило, на лучшее рассчитывать не приходится.

Т а б л и ц а 4.7 **Расчет агроклиматических условий для проведения сева ЯЗК**

№ вар-та	ВППП (%)	ПВО (%)	ПО (мм)	ТППП (^{0}C)	ПТВ (%)	ВП	РП	ГЗС (см)	Оценка АКУ
1	34.8	12	3	5.28	13.2	7 (ДП)	3(супесь)	5	0.5014
2	33	55	63.5	3.8	8.12	7 (ДП)	3(супесь)	5	0.401
3	33	55	63.5	3.8	8.12	7 (ДП)	3(супесь)	5	0.401
4	29	35	13.1	4.8	10.38	7 (ДП)	3(супесь)	5	0.3443
5	29	35	13.1	4.8	10.38	7 (ДП)	3(супесь)	5	0.3443
6	29	35	13.1	4.8	10.38	7 (ДП)	3(супесь)	5	0.3443
7	29	35	13.1	4.8	10.38	7 (ДП)	3(супесь)	5	0.3443
8	23.145	48	16.7	6.2	11.87	7 (ДП)	3(супесь)	5	0.374
9	23.145	48	16.7	6.2	11.87	7 (ДП)	3(супесь)	5	0.374
10	23.145	48	16.7	6.2	11.87	7 (ДП)	3(супесь)	5	0.374
11	23.145	48	16.7	6.2	11.87	7 (ДП)	3(супесь)	5	0.374
12	23.145	48	16.7	6.2	11.87	7 (ДП)	3(супесь)	5	0.374
13	30.08	23	6.3	3.3	9.76	7 (ДП)	3(супесь)	5	0.243
14	30.08	23	6.3	3.3	9.76	7 (ДП)	3(супесь)	5	0.243
15	22.016	27	10.5	10.7	14.43	7 (ДП)	3(супесь)	5	0.284
16	22.016	27	10.5	10.7	14.43	7 (ДП)	3(супесь)	5	0.284
17	22.016	27	10.5	10.7	14.43	7 (ДП)	3(супесь)	5	0.284
18	29.05	39	70.4	10.2	14.37	7 (ДП)	3(супесь)	5	0.4058
19	29.05	39	70.4	10.2	14.37	7 (ДП)	3(супесь)	5	0.4058
20	29.05	39	70.4	10.2	14.37	7 (ДП)	3(супесь)	5	0.4058
21	29.05	39	70.4	10.2	14.37	7 (ДП)	3(супесь)	5	0.4058
22	29.05	39	70.4	10.2	14.37	7 (ДП)	3(супесь)	5	0.4058

На третьем шаге для каждого варианта полевого опыта требуется рассчитать урожайность зерновых культур, степень риска потерь урожая и комплексную оценку условий для проведения сева при различных нормах высева (от 3 млн.шт/га до 8 млн.шт/га с шагом 0.2 млн.шт/га). В табл. 4.8 показан пример расчета для опыта №6.

Наивысшая комплексная оценка для опыта №6 составляет 0.317, следовательно, рекомендуется норма высева: 6.4 млн.шт/га.

Т а б л и ц а 4.8 **Расчет урожайности, степени риска потерь урожая и комплексной оценки условий для проведения сева для опыта №6 при различных нормах высева**

Вариант агротехнологий	Оценка АКУ	Оценка кондицион. семенного материала	Сорт семян	Норма высева (млн шт/га)	Урожайность (ц/га)	Степень риска потерь урожая	Компл. оценка для УПС
1(хозяйственный)	0.3443	0.5861	1-я репрод.	3	18.2	0.6757	0,1853
1(хозяйственный)	0.3443	0.5861	1-я репрод.	3.2	18.6	0.6731	0,1807
1(хозяйственный)	0.3443	0.5861	1-я репрод.	3.4	19	0.6705	0,1984
1(хозяйственный)	0.3443	0.5861	1-я репрод.	3.6	19.45	0.6679	0,2163
1(хозяйственный)	0.3443	0.5861	1-я репрод.	3.8	19.9	0.6653	0,2256
1(хозяйственный)	0.3443	0.5861	1-я репрод.	4	20.3	0.6627	0,2324
1(хозяйственный)	0.3443	0.5861	1-я репрод.	4.2	20.7	0.6601	0,2385
1(хозяйственный)	0.3443	0.5861	1-я репрод.	4.4	21.1	0.6575	0,2425
1(хозяйственный)	0.3443	0.5861	1-я репрод.	4.6	21.55	0.6549	0,2466
1(хозяйственный)	0.3443	0.5861	1-я репрод.	4.8	22	0.6523	0,2525
1(хозяйственный)	0.3443	0.5861	1-я репрод.	5	22.4	0.6497	0,2616
1(хозяйственный)	0.3443	0.5861	1-я репрод.	5.2	22.8	0.6471	0,2617
1(хозяйственный)	0.3443	0.5861	1-я репрод.	5.4	23.2	0.6444	0,2639
1(хозяйственный)	0.3443	0.5861	1-я репрод.	5.6	23.65	0.6418	0,2736
1(хозяйственный)	0.3443	0.5861	1-я репрод.	5.8	24.1	0.6392	0,2894
1(хозяйственный)	0.3443	0.5861	1-я репрод.	6	24.5	0.6366	0,3033
1(хозяйственный)	0.3443	0.5861	1-я репрод.	6.2	24.9	0.634	0,312
1(хозяйственный)	0.3443	0.5861	1-я репрод.	6.4	25.3	0.6314	0,317
1(хозяйственный)	0.3443	0.5861	1-я репрод.	6.6	25.75	0.6288	0,3145
1(хозяйственный)	0.3443	0.5861	1-я репрод.	6.8	26.2	0.6262	0,3069
1(хозяйственный)	0.3443	0.5861	1-я репрод.	7.0	26.6	0.6236	0,2963
1(хозяйственный)	0.3443	0.5861	1-я репрод.	7.2	27	0.621	0,2945
1(хозяйственный)	0.3443	0.5861	1-я репрод.	7.4	27.4	0.6184	0,294
1(хозяйственный)	0.3443	0.5861	1-я репрод.	7.6	27.8	0.6158	0,2961
1(хозяйственный)	0.3443	0.5861	1-я репрод.	7.8	28.3	0.6132	0,2956
1(хозяйственный)	0.3443	0.5861	1-я репрод.	6.9	26.4	0.6249	0,3021

Итоговые результаты расчетов оптимальных норм высева зерновых культур для всех опытов представлены в табл. 4.9.

Т а б л и ц а 4.9 **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 (расч)	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

4.3.2 Стандартные методики расчета нормы высева.

На практике в сельскохозяйственном производстве обычно [17-20] для определения нормы высева используется стандартная формула расчета:

$$H = \frac{\text{МТС} * n * 10000}{\text{ЧС} * \text{Вс}}, \qquad (4.3.2.1)$$

где *Н* - норма высева, кг/га; МТС - масса 1000 семян, г; n - количество зерен, млн.шт/га; ЧС - чистота семян, %; Вс - лабораторная всхожесть семян, %.

Расчет нормы высева производят по биометрическим показателям растений с использованием показателя всхожести:

$$H = \frac{(\text{У} * 10)/M}{\text{Вж} * k * \text{П}} * \frac{\text{МТС} * 100}{\text{ЧС} * \text{Вс}}, \qquad (4.3.2.2)$$

где *Н* - норма высева, кг/га; *У* – планируемая урожайность, ц/га; *М* – масса зерна в одном колосе, г; Вж – коэффициент выживаемости растений, %; k – коэффициент кущения; П – коэффициент полевой всхожести, %; МТС - масса 1000 зерен, г; ЧС – чистота семян, %; Вс - лабораторная всхожесть семян, %.

Расчет нормы с учетом показателя силы роста, определенного в конусных цилиндрах с песком с учетом глубины заделки семян:

$$H = \frac{(\text{У} * 10)/M}{\text{Вж} * k} * \frac{\text{МТС} * 100}{\text{ЧС} * C}, \qquad (4.3.2.3)$$

где *Н* - норма высева, кг/га; *У* – планируемая урожайность, ц/га; *М* – масса зерна в одном колосе, г; Вж – коэффициент выживаемости растений, %; k – коэффициент кущения; МТС – масса 1000 зерен, г; ЧС – чистота семян, %; *С* – сила роста на глубине заделки семян, %.

Расчет нормы высева по коэффициенту биологической эффективности (КБЭ) производится следующим образом:

$$H = \frac{\text{МТС} * n}{\text{ЧС} * \text{Вс}} * \big(100 + (\text{Вс} - \text{Кб})\big) * 100, \qquad (4.3.2.4)$$

где *Н* – норма высева, кг/га; МТС – масса 1000 зерен, г; ЧС – чистота семян, %; Вс – лабораторная всхожесть семян, %; *Кб* - коэффициент биологической эффективности.

Коэффициент биологической эффективности семян определяется на основании анализа энергии прорастания и всхожести семян:

$$\text{Кб} = 100 - \frac{(\text{Вс} - \text{Э}) * 100}{\text{Вс}}, \qquad (4.3.2.5)$$

где *Кб* – коэффициент биологической эффективности семян; Вс – лабораторная всхожесть семян, %; Э – энергия прорастания семян.

Фактическая урожайность зерновых культур, показанная в таблице 4.9, определялась агрономами при проведении полевых опытов в Меньковской опытной станции Агрофизического НИИ за 2006-2013 годы с использованием выражения (4.3.2.1).

Таким образом, как было отмечено в главе 1, традиционные способы расчета норм высева семян яровых зерновых культур не учитывают многих важных показателей, таких как, внешние агроклиматические условия, показатель внешней и внутренней травмированности, микробиом и др, влияющих на рост, развитие, жизнеспособность растений и, как следствие, формирование высоких урожаев, не дают представления о степени возникающих рисков, и, соответственно, характеризуются невысокой точностью.

4.3.3. Анализ результатов апробации разработанных моделей и алгоритмов

Показано как с помощью разработанных моделей и алгоритмов оптимизации норм высева семян яровых зерновых культур определяются оптимальные нормы высева. Согласно расчетам на основе данных проведенных полевых опытов в Меньковской опытной станции Агрофизического НИИ за 2006-2013 годы (см. табл. 4.9) стандартное

отклонение фактических урожайностей от прогнозируемых σ = 4.76 ц/га (средняя величина фактической урожайности составила 34 ц/га при выборке наблюдений n=22). Учитывая, что сельскохозяйственный бизнес является высоко рискованным, подвержен влиянию различных погодно-почвенных факторов, качественных характеристик семенного материала и способов возделывания (выбранных агротехнологий) можно считать, что полученные результаты модельных расчетов адекватно отражают действительность. Стоит также отметить, что математическая модель создавалась на основе знаний и опыта экспертов, а не на базе статистических данных проведенных опытов. Это означает, что модель является универсальной и ее можно успешно использовать и в других регионах РФ.

Комплексная оценка также очень полезна и при выборе лучшей агротехнологии. Результаты расчетов для проведенных испытаний свидетельствуют о предпочтительности использований высокоинтенсивного варианта агротехнологий с элементами точного земледелия, поскольку комплексные оценки условий проведения сева в этих случаях становятся наибольшими (см. табл. 4.9).

На основе экспериментальных данных, полученных из опытов [25], проверена адекватность представленных в данной работе математических моделей. Согласно таблице 4.9, в большинстве случаев, прогнозируемые уровни урожайностей находятся близко к фактическим.

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 ценности созданного решения в плане повышения экономической эффективности в сельскохозяйственном производстве. Данные о потенциальных темпах роста средних

урожайностей в проведенных полевых экспериментах сведены таблицу 4.10 и проиллюстрированы на гистограмме (рис. 4.1). 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 4.11). А рост комплексного показателя условий проведения сева, который учитывает уровень урожайности, степень риска потерь урожая и расход зерна, мог бы составить 6.22% (см. таблицу 4.12).

Т а б л и ц а 4.10. **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

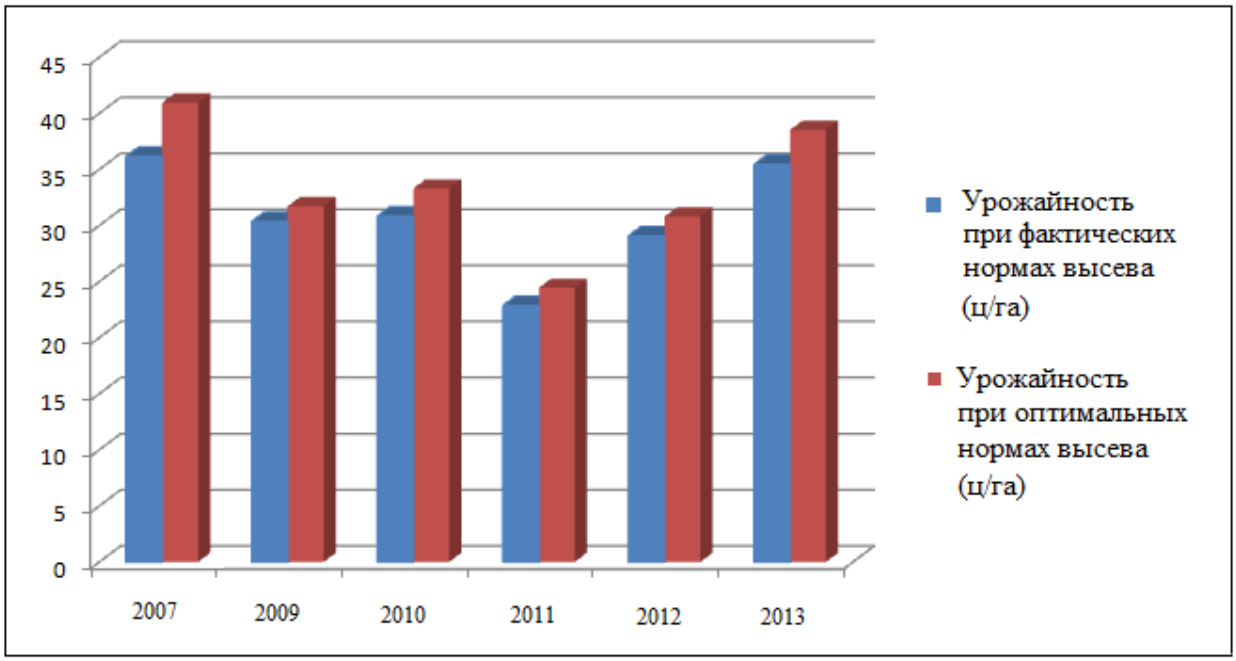


Рис. 4.1 Значения прогнозируемых показателей урожайности ЯЗК на основе данных полевых опытов в Меньковской опытной станции Агрофизического НИИ за 2007- 2013 годы при задании фактических и оптимальных норм высева.

Т а б л и ц а 4.11. **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

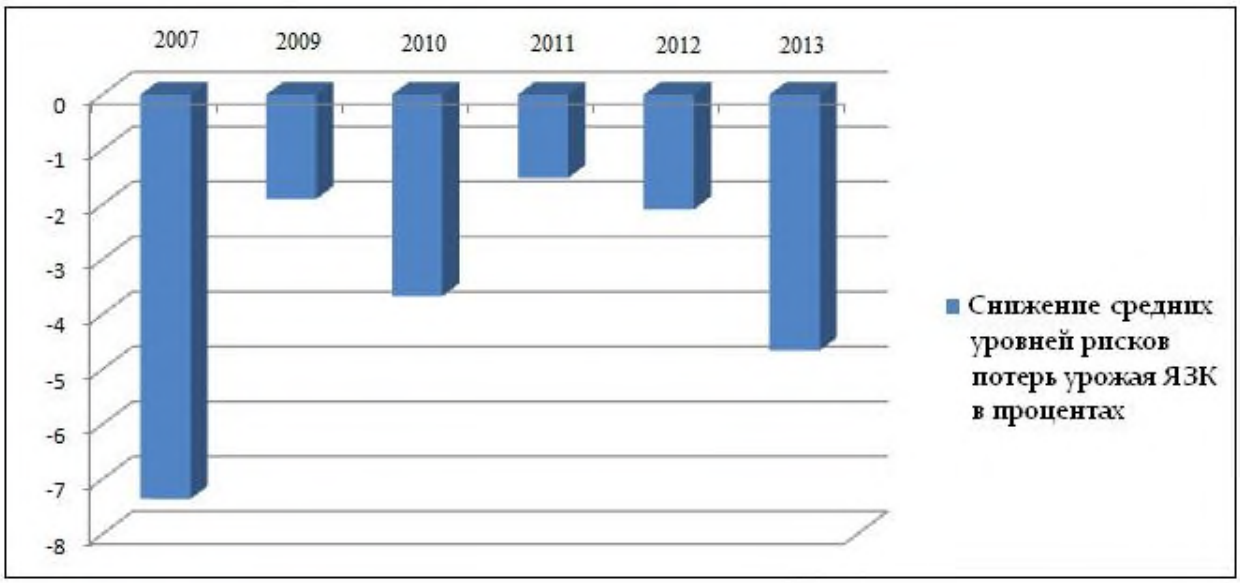


Рис. 4.2 Показатели снижения средних уровней рисков потерь урожая ЯЗК в процентах на основе данных полевых опытов в Меньковской опытной станции Агрофизического НИИ за 2007- 2013 годы при задании фактических и оптимальных норм высева.

Т а б л и ц а 4.12. **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

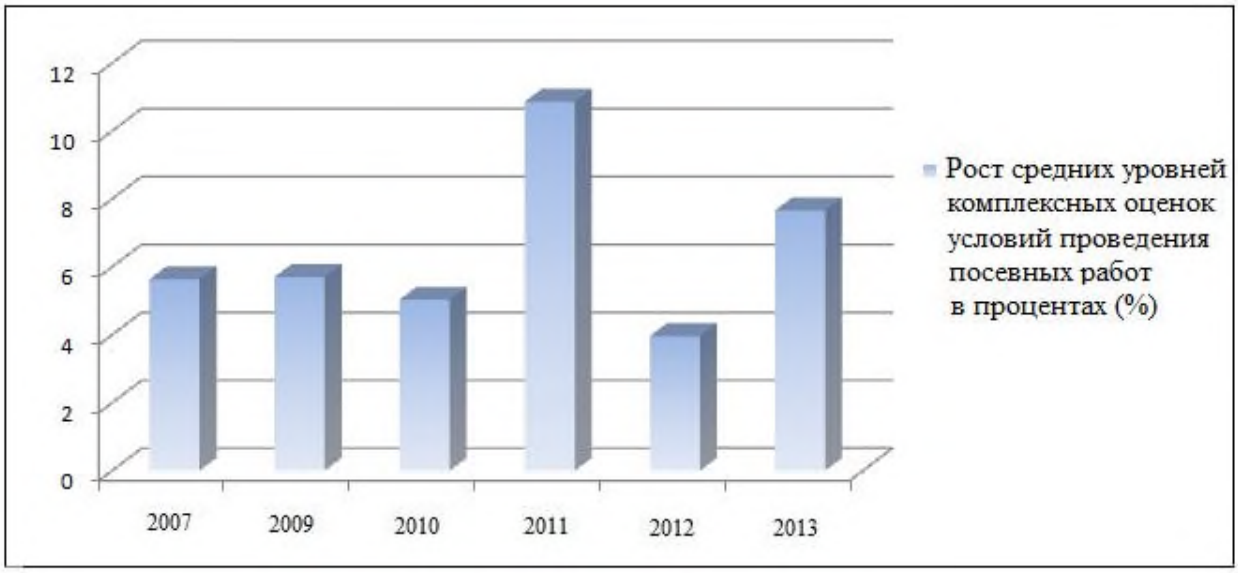


Рис. 4.3 Показатели возможного роста средних уровней комплексных оценок условий для проведения сева в процентах (%) на основе данных полевых опытов в Меньковской опытной станции Агрофизического НИИ за 2007- 2013 годы при задании оптимальных норм высева.

4.4. Выводы по главе 4.

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 полученных модельных расчетов**.** Результаты апробации показали, что созданные математические модели и алгоритмы могут быть успешно применены для определения заданий высевающим аппаратам, появившимся в составе комплекса машин систем ТЗ сеялкам точного высева, для различных культур и условий их возделывания.

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, обусловливающего 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.

Литература

1. **Аверкин А. Н., Батыршин И. З., Блишун А. Ф., Силов В. Б., Тарасов В. Б.** 1986**.** Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта. — М.: Наука.
2. **Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В.** Планирование эксперемента при поиске оптимальных условий. - М.: Наука, 1976. - 256 с.
3. **Алещенко Г.М., Букварева Е.Н.** Модель фенотипического разнообразия популяции в случайной среде. // Журнал общей биологии. 1991. Т. 52. №4. С. 499-508.
4. **Алиев Р.А., Церковный А. Э., Мамедова Г. А.** Управление производством при нечеткой исходной информации. Энергоатомиздат. 1991. 241 с.
5. **Архипов М.В.** Радиочувствительность ДНП клеток зародышей и потенциальная продуктивность растений. - Дисс. доктора биол. наук. Л. - 1989. - 318 с.
6. **Архипов М.В., Алексеева Д.И., Батыгин Н.Ф.** и др. Методика рентгенографии в земледелии и растениеводстве. – М., 2001. – 94 с.
7. **Архипов М.В., Дерунов И.В., Гусакова Л.П., Великанов Л.П., Желудков А.Г,. Алферова Д.В.** О биологической и хозяйственной неоднородности семенного материала. - Сб. «Регулируемая агроэкосистема в растениеводстве и экофизиологии». С-Пб.: 2007. С. 342-346.
8. **Архипов М.В., Ермаков Р.Н.** Сборник Петровской Академии Наук. 2015. Применение моделей нечеткой логики для прогноза полевой всхожести зерновых культур с учетом степени кондиционности семенного материала.
9. **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.

10. **Архипов М.В., Куртенер 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.

11. **Архипов М.В., Михайленко И.М., Великанов Л.П., Алферова Д.В., Дерунов И.В.** Аппаратно-программный комплекс для автоматизации интроскопической технологии экспресс-контроля запасов зерна длительного хранения / Материалы IX Межд. конференции «Автоматизация и информационное обеспечение производственных процессов в сельском хозяйстве», 19-20 сентября, Углич. - М, 2006.

12. **Астащенко А.М., Астащенко Т.С.Мурашкин А.В. и др.** Влияние регулируемых факторов внешней среды на продуктивность и адаптивные свойства зерновых культур. В сб. научных трудов по агрономической физике: Физиологические закономерности онтогенеза и продуктивности растений. – Л., 1987. С. 78-98.

13. **Бабкин Э.А., Визгунов А.Н., Куркин А.А., Козырев О.Р.** Н. Новгород: Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, 2008.

14. **Балакай Н. И.** Определение рационального соотношения орошаемых и богарных сельхозугодий на агроланшафтах. Научный журнал КубГАУ, №63(09), 2010 года.

15. **Батыгин Н.Ф.** Онтогенез высших растений. – М.: Агропромиздат, 1986. 102 с.

16. **Борисов А.Н., Алексеев А.В., Меркурьева Г.В.** Обработка нечеткой информации в системах принятия решений. – М.: Радио и связь, 1989. – 632 с.

17. **Бурнатова Л.Б.** Прогнозирование и сравнительный анализ способов расчета нормы высева при моделировании урожайности яровой пшеницы. - Дисс. кандидата сельск. хоз. наук. Курган. - 2007. - 167 с.
18. **Бурнатова Л.Б.** Способы расчета нормы высева при программировании урожайности яровой пшеницы /Л.Б. Бурнатова // Научные результаты - агропромышленному производству: материалы международной научной конференции. В 2-х т. - Т.1. - Курган: Зауралье, 2004. - С.219-221.
19. **Бурнатова Л.Б.** Влияние нормы высева семян на урожайность яровой пшеницы / Л.Б. Бурнатова // АПК в XXI веке: действительность и перспективы: материалы региональной научной конференции молодых ученых. Т.1. - Тюмень: ТГСХА, 2005. - С. 17-19.
20. **Бурнатова Л.Б.** Моделирование продуктивности яровой пшеницы по климатическим и биологическим параметрам / Л.Б. Бурнатова // Достижения науки в реализацию национального проекта "Развитие АПК": материалы международной научно-практической конференции. - Т.2. - Курган: Зауралье, 2006. - С.125-127.
21. **Бусленко Н.П.** 1968. Моделирование сложных систем. - М.: Наука, 355с.
22. **Бусленко Н.П.** 1978. Моделирование сложных систем. -М.: Наука, -399с.
23. **Валиев А.Р., Зиганшин Б.Г., Семушкин Н.И., Яхин С.М.** Машины для предпосевной обработки почвы и посева сельскохозяйственных культур: регулировка, настройка и эксплуатация. - Казань: Издательство Казанского ГАУ, 2013. - 156 с.
24. **Воробьев Г.И., Анучин Н.А., Виноградов В.Н. и др.** Лесная энциклопедия: В 2-х т., т.2 - М.: Сов. энциклопедия, 1986.-631 с., ил.
25. **Воропаев В.В., Лекомцев П.В., Якушева О.И.** Управление продуктивностью и качеством зерна яровой пшеницы на фоне почвенной неоднородности. Методическое и экспериментальное обеспечение адаптивно-ландшафтных систем земледелия. – СПб.: Изд-во ПИЯФ РАН, 2007. – С.214-226.

26. **Галушкин А.И.** 2012. Нейронные сети: основы теории. Горячая Линия - Телеком. ISBN 978-5-9912-0082-0.
27. **Гвоздик А. А.** 1984. Решение нечетких уравнений // Изв. АН СССР. Техн. кибернетика. — 1984. — № 5 — С. 176—183.
28. **Гуляев Г.В., Алексашова В.С., Беляков И.И.** Семеноводство зерновых культур в СССР и за рубежом. – М.: Колос. – 64 с.
29. **Гусакова Л.П., Архипов М.В.** Рентгенографическая оценка внутренних дефектов семян кормовых трав.// Доклады РАСХН. 2008, М.:№1, с.17-19.
30. **Гусакова Л.П., Ермаков Р.Н.** Нечеткологический подход к проектированию и разработке интеллектуальной системы, предназначенной для оценки условий проведения сева. Известия Санкт-Петербургского Государственного Аграрного Университета, № 26, 70-79 с.
31. **Дергачев К.В., Наволоцкая А.В., Андрущенко А.В.** Новые интенсивные сорта яровой пшеницы селекции СЗ НИИСХ. В сб.: Селекция, семеноводство и технологии возделывания зерновых культур в Северо-Западной зоне РФ. – Л., 1986. С. 42-47.
32. **Дерунов И.В.** Рентгенографическое исследование семян различных сельскохозяйственных культур и продуктов их переработки.-Автореф. на соискание уч. степени к.б.н. , СПб. АФИ, 2004.-22 с.
33. **Дроздов А.В., Спесивцев А.В.** Формализация экспертной информации при логико-лингвистическом описании сложных систем // Техническая кибернетика 1994. № 2, с. 89-96.
34. **Дроздов А.В., Спесивцев А.В., Кимяев И.Т.** Определение нечеткой метрики на множестве нечетких чисел (LR) —типа. //Москва, Деп. ВИНИТИ2184-В-95, 1995.- стр.15-30.
35. **Дюбуа Д., Прад Г.** Теория возможностей. Приложения к представлению знаний в информатике – М.: Радио и связь, 1990.

36. **Ермаков Е.И.** Системы интенсивного культивирования растений в регулируемых условиях. В сб.: Системы интенсивного культивирования растений. – Л.: ВО «Агропромиздат», 1987. С. 3-21.
37. **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.
38. **Заде Л**. 1976. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. М.: Мир, - 166с.
39. **Ивахненко А. Г., Юрачковский Ю. П.** 1987. Моделирование сложных систем по экспериментальным данным. — М.: «Радио и связь».
40. **Ижик Н.К.** Полевая всхожесть семян. – Киев: Урожай, 1976. 205 с.
41. **Казаков Е.Д. Кретович В.Л.** Биохимия дефектного зерна и пути его исследования. – М.: Наука, 1979. 152 с.
42. **Кизилова Е.Р.** Разнокачественность семян, ее природа и продуктивность растений. // Тр. Всесоюзного семинара «Физиолого-биохимические проблемы семеноведения и семеноводства», 13-18 июня 1972 г., Иркутск. Ч.1. Иркутск, 1973. С. 42-45.
43. **Кофман А.** 1982. Введение в теорию нечетких множеств. М.: Радио и связь. 432 с.
44. **Колесов Д.Н., Хованов Н.В., Юдаева М.С.** 2009. Оценка вероятности альтернатив по ординальной и интервальной экспертной информации // Применение математики в экономике. Вып. 18 / Под ред. А.В. Воронцовского. СПб.: ООО «ИПК Коста». С. 82-107.
45. **Колесов Д.Н., Михайлов М.В., Хованов Н.В., Чудовская Л.А.** 2008. Оценка показателей экономических объектов методом рандомизированных функций // Применение математики в экономике.

Вып. 17 / Под. ред. А.В. Воронцовского. СПб.: Издательство С.-Петерб. ун-та. С. 71-104.

46. **Колесов Д.Н., Михайлов М.В., Хованов Н.В.** 2004. Оценка сложных финансово экономических объектов с использованием системы поддержки принятия решений АСПИД-3W: Учебное пособие. СПб.: ОЦЭиМ. 64 с.
47. **Кохонен Т.** Самоорганизующиеся карты. Пер. с англ. – М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008. – 656 с. : ил. – (Адаптивные и интеллектуальные системы).
48. **Кремкова Л.А., Лощак И.Ф.,** Селекция овса в Северо-Западном регионе В сб.: Селекция, семеноводство и технологии возделывания зерновых культур в Северо-Западной зоне РФ. – Л., 1986. С. 112-117.
49. **Кулешов Н.Н.** Агрофизическое семеноведение. – М., 1963.
50. **Кунгурцева В.В.** Изучение периода покоя семян ячменя сибирской репродукции. В сб.: Физиологические основы повышения устойчивости растений и полевой всхожести семян в Сибири. – М.: Наука, 1967. С. 58-63.
51. **Куртенер 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.
52. **Куртенер 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.
53. **Куртенер Д. А., Е. Д. Швецова, Р.Н. Ермаков.** Программа для ЭВМ: Программа многокритериальной оценки агротехнологий. // Свидетельство о гос. регистрации № 2009615288. 2009
54. **Лю Б.** Теория и практика неопределенного программирования / Б. Лю; Пер. с англ.- М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2005. – 55 с

55. **Любич Ф.П.** Разнокачественность плодов и семян у растений и ее значение в жизни вида. // Агробиология. 1951. №5. С. 21-27.
56. **Макрушин Н.М.** Экологические основы промышленного семеноводства зерновых культур. – М.: Агропромиздат, 1985. – 280 с.
57. **Малько А.М.** Система сертификации семян сельскохозяйственных растений, как условие развития селекции и семеноводства на современном этапе. – Автореф. дисс. докт. с/х наук – М., 2005. 50 с.
58. **Минский М, Пайперт И**. Персептроны.-М.:Мир, 1971.
59. **Мошков Б.С.** Индивидуальная продуктивность растений. // Физиология растений. 1974. Т. 21. Вып. 3. С. 647-652.
60. **Мошков Б.С., Макарова Г.А.** Физиологические и селекционно-генетические аспекты роли актиноритмических и температурных реакций в онтогенезе пшеницы. В сб.: Системы интенсивного культивирования растений. – Л.: ВО «Агропромиздат», 1987. С. 21-35.
61. **Мур В.П.** Влияние механических повреждений на жизнеспособность семян. В кн.: Жизнеспособность семян – М.: Колос, 1978. С. 94-111.
62. **Налимов В.В., Чернова Н.А.** (1965). Статистические методы планирования экстремальных экспериментов. М.
63. **Нариньяни А.С.** Недоопределенность в системах представления и обработки знаний // *Изв. АН СССР. Техн. кибернетика*, 1986. № 5. – С. 3 – 28.
64. **Насыпайко В.М., Чайка В.Г.** Методические рекомендации по производству сортовых семян в специализированных семеноводческих хозяйствах степной зоны Украины. – Одесса, 1978. 56 с.
65. **Неттевич Э.Д. Аниканова З.Ф., Романова Л.М.** Выращивание пивоваренного ячменя. – М.: Колос, 1981. – 208 с.
66. **Овчаров К.Е.** Физиология формирования и прорастания семян. – М.: Колос, 1976. – 256 с.

67. **Пегат А.** Нечеткое моделирование и управление / А. Пегат ; пер. с англ. – М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. – 798 с. : ил. – (Адаптивные и интеллектуальные системы).
68. **Перегудов Ф.И., Тарасенко Ф.П.** П27 Основы системного анализа: Учеб. 2-е изд., доп.–Томск: Изд-во НТЛ, 1997.–396 с.: ил.ISBN 5-89503-004-1.
69. **Пехальский И.А., Кожевникова М.В.** Рентгенографический комплекс для определения и оценки степени механического повреждения семян при машинной обработке // Зерновые культуры. – 1992, №2-3. – с.27-28.
70. **Пехальский Н.А.** Методические и конструктивно-технологические решения проблемы снижения механических повреждений семян зерновых культур при машинной послеуборочной подготовке. –: Автореф. дисс. канд. техн. наук. – М., 1993. – 24 с.
71. **Пугач Н.Г., Попова Г.С., Попов Г.И., Грачева Л.С.** Селекция сортов озимой ржи, адаптированной для Нечерноземной зоны России. В сб.: Пути повышения урожайности и качества сельскохозяйственных культур на Северо-западе России. – СПб., 2000. С. 93-98.
72. **Р. Риахи, Ю. А. Безносик, Л. Н. Бугаева, Г. А. Статюха.** Прогнозирование экологических рисков с использованием анализа иерархий и теории нечетких множеств. Вестник Винницкого политехнического института, 2006, № 5.
73. **Робертс Е.Г.** Влияние условий хранения семян на их жизнеспособность. В кн.: Жизнеспособность семян. – М.: Колос, 1978. С. 22-62.
74. **Розенблатт Ф.** Принципы нейродинамики. Персептроны и теория механизмов мозга. - М.:Мир, 1965.
75. **Руанет В. В., Упелниек В. П., Пухальский В. А., Кудрявцев А. М.** Разработка интеллектуальных систем поддержки принятия решений, на базе нейросетевых технологий, для анализа электрофоретических спектров глиадина пшеницы и определения сортовой принадлежности семян // Известия ТСХА - 2007 - С 18-20.

76. **Савин В.Н., Артемьева В.В., Никитина Л.И. и др.** Влияние температурных условий формирования семян на потенциальную продуктивность и устойчивость растения к неблагоприятным факторам среды. В сб.: Физиологические закономерности онтогенеза и продуктивности растений. – Л., 1987. С. 78-98.
77. **Савин В.Н., Архипов М.В., Баденко А.Л. и др.** Рентгенография для выявления внутренних повреждений и их влияние на урожайные качества семян. // Вестник с/х науки,.1981. №10. С. 99-104.
78. **Савин В.Н., Великанов Л.П., Архипов М.В. и др.** Влияние режимов сушки на внутреннюю поврежденность семян зерновых культур // В сб.: Семеноводство зерновых культур (агроэкология, организация, технологии). – М.: Агропромиздат, 1988. – с.138-143.
79. **Сазыкин Б.В**. 1993. Методы принятия решений и управление техническими системами в условиях неопределенности; Науч.конс.Чернышев Ю.А. - М. : МИФИ, - 343с. - Б. ц.
80. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести. ГОСТ 12038-84. – М., 1985. – 58 с.
81. Семена сельскохозяйственных растений. Сортовые и посевные качества. Ч. 1. – М., 1991. – 424 с.
82. **Семенов Г.В., Баранов А.А., Бондарева Л.М. и др.** Исследование прикладных моделей для управления урожаев ячменя и овса. В сб.: Селекция, семеноводство и технологии возделывания зерновых культу в Северо-Западной зоне РФ. – Л., 1986. С. 121-134.
83. **Сечняк Л.К., Киндрук Н.А., Слюсаренко О.К. и др.** Экология семян пшеницы. – М.: Колос, 1983. 350 с.
84. **Симчера В.М.** Методы многомерного анализа статистических данных. М.: Финансы и статистика, 2008, 28 п.л.
85. **Соколова О. А.** Статистическая оценка производственных рисков в растениеводстве и управление ими на основе страхования : диссертация ... кандидата экономических наук : 08.00.12 / Соколова Ольга Анатольевна;

[Место защиты: Рос. гос. аграр. ун-т].- Москва, 2008.- 235 с.: ил. РГБ ОД, 61 09-8/374

86. **Соколова О.А., Шибалкин А.Е.** Перспективы страхования сельскохозяйственных культур в России // Страховое дело - 2007. - №10. - с. 38-46.

87. **Соложенцев Е.Д.** 2011**.** ИЗ –технологии для экономики. – СПб.: Наука.- 387 с.

88. **Стебут А.Н.** Труды Саратовской областной с/х опытной станции. Вып. III. – Саратов, 1915.

89. **Строна И.Г.** Общее семеноведение полевых культур. – М., 1966.

90. **Строна И.Г., Пугачев А.Н., Чазов А.С. и др.** Травмирование семян и его предупреждение. – М.: Колос, 1972. – 100 с.

91. **Султангазин У.М., Муратова Н.Р., Терехов А.Г..** 2003. Использование космического мониторинга в планировании и прогнозировании параметров зернового производства. Из http://www.cosmos.ru/earth/trudi/1-28.pdf.

92. **Тамберг Т.Г.** Значение местоположения семян на растении для их качества. // Уч. записки ЛГУ. 1951. №139. С. 231-249.

93. **Тарасенко А.П.** Снижение травмирования семян при уборке и послеуборочной обработки: Монография - Воронеж: ВГАУ, 2003. - 331 с. - ISBN 5-7267-0318-9.

94. **Темирбекова С.К.** О проблеме энзимо-микозного истощения семян («истекание» зерна) в растениеводстве. – М., 1998. 306 с.

95. **Филиппенко Г.И.** Влияние длительного хранения семян на всхожесть и сортовые качества пшеницы // НТБ ВИР. Вып. 159. 1985. С. 23-25.

96. **Хайдекер В.** Сила семян: В кн.: Жизнеспособность семян /под. ред. Робертса Е.Г./ – М., 1978. С. 202-244.

97. **Хорошайлов Н.Г.** Сохранение мировой коллекции сельскохозяйственных растений // Тр. по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1977. Т. 60. Вып. 1. С. 155-159.

98. **Чазов С.А.** Травмирование семян зерновых культур и пути его устранения. – Автореф. дисс. докт. биол. наук – Харьков, 1972. 48 с.

99. **Шепард Ф.М.** Естественный отбор и наследственность. – М., 1970.

100. **Щербаков В.В., Маринина Н.А.** Практическое пособие по организации страхования сельхозкультур «Страхование урожая сельскохозяйственных культур с государственной поддержкой»: Практическое пособие - М.: ФГУ «ФАГПССАП» Минсельхоза России, 2011 г. – 130 с.

101. **Якушев В.П., Желудков А.Г., Архипов М.В.** Методы компьютерной оценки рентгенобразов агросырья при проведении фитосанитарной оценки его биобезопасности / Материапы II Международного конгресса «Зерно и хлеб Рос-сии», 9-10 ноября, 2006 г., Санкт-Петербург. - СПб., 2006. - С. 108.

102. **Abu-Mostafa Y.S., St.Jacques,J.**1985. Information capacity of the Hopfield model. IEEE Transactions on Information Theory 31(4):461-64.

103. **Alvisi, F.; Malagoli, C.; Regazzi, D.,** 1992. Multiple-criteria decision making in orchard management. *Acta-Hortic* 313: p.233-240, Palmerston North, New Zealand**.**

104. **Ambuel, J.R., Colvin, T.S. and Karlen, D.L.** 1994. A Fuzzy logic yield simulator for prescription farming. Transactions of the ASAE 37(6) 1999-2009.

105. **Antle, J.M. and Capalbo S.M.** (2001). “Econometric-Process Models for Integrated Assessment of Agricultural Production Systems.” *American Journal of Agricultural Economics* 83(2): 389-401.

106. **Babuska R.** Fuzzy modeling a control engineering perspective. Proceedings of the International Conference FUZZ-IEEE/IFES'95, 1995, Yokohama, Japan, pp.1897-1902.

107. **Babuska R., Verbruggen H.B.** 1995. A new identification method for linguistic fuzzy model. Proceedings of the International Conference FUZZ-IEEE/IFES'95. Yokohama, Japan, pp.905-912.

108. **Bohanec, M., Messéan, A., Angevin, F., Žnidaršič, M.**: SMAC Advisor: A decision-support tool on coexistence of genetically-modified and conventional maize. *Proc. Information Society IS 2006*, Ljubljana, 9-12, 2006.

109. **Bohanec, M., Cortet, J., Griffiths, B., Žnidaršič, M., Debeljak, M., Caul, S., Thompson, J., Krogh, P.H.**: A qualitative multi-attribute model for assessing the impact of cropping systems on soil quality. *Pedobiologia* 51(3), 239-250, 2007.

110. **B. Koch[a], R. Khosla[a,*], W. M. Frasier[b], D. G. Westfall[a] and D. Inman[a].** 2004. Economic Feasibility of Variable-Rate Nitrogen Application Utilizing Site-Specific Management Zones. Published in Agron. J. 96:1572-1580.

111. **Busscher, W.J., J.M. Novak, T.C. Ceasar-TonThat.** 2007. Organic Matter and Polycrylamide Amendment of Norfolk Loamy Sand. Soil & Tillage Research 93:171-178.

112. **Cooley, W.W. and P.R. Lohnes** (1971) Multivariate Data Analysis. New York: John Wiley.

113. **Cortet, J. Bohanec, M. Griffiths, B. Znidarsic, M. Debeljak, M. Caul, S. Thompson, J. Krogh, P.H.** 2009. Biodiversity and soil quality in agroecosystems: the use of a qualitative multi-attribute model. IOBC WPRS BULLETIN 42, 37-40.

114. **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.

115. **Hayashi K.,** 1998. Multicriteria Aid for Agricultural Decisions Using Preference Relations: Methodology and Application. Agricultural Systems 58, 483-503.

116. **Jones D. and E. M. Barnes** (2000) Fuzzy composite programming to combine remote sensing and crop models for decision support in precision crop management *Agricultural Systems* 65(3): 137-158.

117. **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.

118. **Lachenbruch, P.A.**(1975) Discriminant Analysis. New York: Hafner. pp 41-46.

119. **Lawrence P.R., Renard, G.; von Oppen, M**, 1998. The Evaluation of Technical and Institutional Options for Small Farmers in West Africa. Weikersheim : Markgraf Verlag, 93-104.

120. **Li D.F.** 1999, Fuzzy multiattribute decision-making models and methods with incomplete preference information, Fuzzy Sets and Systems 106, 113–119.

121. **Mamdani E.H., Assilian S.** 1975. An experiment in linguistic synthesis thesis with a fuzzy logic controller.- International Journal of Man-Machine Studies, vol. 7, no. 1, pp. 1-13.

122. **Mamdani E.H.** 1976. Advances in the linguistic synthesis of fuzzy controllers.- International Journal of Man-Machine Studies, vol. 8, pp. 669-678.

123. **Mamdani E.H.**, "Applications of fuzzy logic to approximate reasoning using linguistic synthesis," *IEEE Transactions on Computers*, Vol. 26, No. 12, pp. 1182-1191, 1977.

124. **Mizomoto, M., Tanaka, K.** Fuzzy sets and their operations. //Information and Control., 1981, No 48. pp. 30 - 48.

125. **Ramarao N.,** 2003. Conformity Analysis of Cotton Crop using Remote Sensing and GIS. Map Asia 2003 Conference.

126. **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. ISBN 978-5-9900138-2-7.

127. **Saadan H.M.** and **Mndolwa S.I.,** 1999. Overview of sorghum and millet research in Tanzania. Pages 33-38 in Seed systems, higher productivity, and commercialization: prospects for sorghum and millets in Tanzania. Proceedings of a Stakeholder Review and Planning Workshop, 25-26 Nov 1998, Kibaha, Tanzania (Monyo ES, Saadan HM and Mgonja MA, eds). PO Box 776, Bulawayo, Zimbabwe: ICRISAT.

128. **Sadok, W., F. Angevin, J.-E. Bergez, C. Bockstaller, B. Colomb, L. Guichard, R. Reau, A. Messéan, and T. Doré**. **2009**. MASC, a qualitative multi-attribute decision model for ex ante assessment of the sustainability of cropping systems. Agronomy for Sustainable Development, 29: 447–462.

129. **Shands H.J. Janish D.C., Dikson A.D.** Termination response of barley following different harvesting condition and storage treatments // Crop. Sci. – 1967. №7. P. 444-446.

130. **Shahin, M.A., Verma, B.P. and E.W. Tollner. 2000.** Fuzzy logic model for predicting peanut maturity. Transactions of the ASAE, 43(2): 483-490.

131. **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.

132. **Wander M. M., Yang. X. 2000.** Influence of tillage on the dynamics of loose- and occluded-particulate and humified organic matter fractions. Soil Biol. Biochem. **32**: 1151–1160.

133. **Wang Y.**: On fuzzy multiattribute decision-making models and methods with incomplete preference information. Fuzzy Sets and System 151, 285-301 (2005).

134. **Wang Y.M., Fu G.W.**, Using multiobjective decision making method to make decision for multiattributes, Control and Decision 8 (1) (1993) 25–29.

135. **Xie, Shaocheng, Stephen A. Klein, Xianan Jiang, Jim Boyle, Sergey Malyshev**. 2006. Diagnosis of the summertime warm and dry bias over the U.S. Southern Great Plains in the GFDL climate model using a weather forecasting approach, Geophysical Research Letters, Vol. 33.

136. **Zadeh, L.A**. 1965. "Fuzzy sets". *Information and Control* 8 (3): 338–353.

137. **Zadeh, L.A.**, 1965. "Fuzzy algorithms". *Information and Control* 12 (2): 94–102.

138. **Zadeh L.A.** Similarity Relations and Fuzzy Orderings // Information Sciences. – 1971. – Vol.3. – P.177-200.

139. **Zadeh**, **L.A**., 1975. The concept of a linguistic variable and its application to approcsimate reasoning. I, Inf. Sci. 8: 199-249.

Приложение 1. Примеры экспертных оценок, полученных от реальных экспертов-биологов в области сортовых качественных характеристик семян яровых зерновых культур.

Анкета для опроса экспертов

Цель: Определить комплексную оценку влияния качественных показателей семян на уровень риска при проведении сева.

Перечень показателей

МТС - Масса 1000 семян, г. ;

ЧС1 - Чистота семян (сортовая), %;

ЧС2 - Чистота семян (сорняки), шт./кг.;

ВС - Всхожесть семян, %;

ПВВТ - Показатель внешней и внутренней травмированности, %;

МС - Микробиом семени, %;

Постановка задачи:

Необходимо заполнить предложенные таблицы, в которых пустую колонку требуется заполнить вещественными числами от 0 до 1 в зависимости от степени влияния группы показателей на уровень риска не получить всходы при проведении сева. При этом каждому показателю ставится в соответствие какое-либо из допустимых значений. Уровень риска будем считать числом от 0 до 1 и его возможные значения интерпретировать следующим образом (табл. 1):

Т а б л и ц а 1. **Возможные значения комплексной оценки**

Значения комплексной оценки (градации)	Интерпретация комплексной оценки	Интервалы вероятностей риска того, что не взойдут, полученные на основе экспертных мнений
0,2	Очень низкий уровень риска	0% ≤ p < 8%
0,275	Между очень низким уровнем риска и низким	8%≤ p < 10%
0,35	Низкий уровень риска	10% ≤ p < 15%
0,425	Уровень риска ниже среднего	15% ≤ p < 18%
0,5	Средний уровень риска	18% ≤ p < 23%
0,575	Уровень риска выше среднего	23% ≤ p < 28%
0,65	Высокий уровень риска	28% ≤ p < 35%
0,725	Уровень риска между высоким и очень высоким	35% ≤ p < 85%
0,8	Очень высокий уровень риска	85% ≤ p < 100%

Пример:

Эксперту предлагается выбрать комплексную оценку уровня риска *УР* (число от нуля до единицы) в зависимости от совокупности качественных показателей семян. Продукционное правило (будем называть его утверждением) может выглядеть следующим образом:

ЕСЛИ *МТС* = 20 г **И** *ЧС1* = 95% **И** *ЧС2* = 4 шт./кг. **И** *ВС* = 82% **И** *ПВВТ* = 34% **И** *МС* = 82% **ТО** *УР* = ?

Т а б л и ц а 2. **Пример заполнения.**

Возможные градации комплексной оценки для вышеуказанного утверждения	Значение комплексной оценки	Требуется расставить вероятности напротив каждого варианта (значения от 0 до 1, при этом в сумме они должны составить 1). Этот столбец требуется заполнить.
Ниже среднего	0,425	0
Средний	0,5	0,25
Выше среднего	0,575	0,7
Высокий	0,65	0,05
Между высоким и очень высоким	0,725	0

Интерпретация показанного примера.

Эксперт считает, что утверждение

ЕСЛИ *МТС* = 20 г **И** *ЧС1* = 95% **И** *ЧС2* = 4 шт./кг. **И** *ВС* = 82% **И** *ПВВТ* = 34% **И** *МС* = 82% **ТО** *УР = 0,425*

Истинно с вероятностью 0 (0%), т.е. это означает, что оно ложно;

Эксперт также считает, что утверждение

ЕСЛИ *МТС* = 20 г **И** *ЧС1* = 95% **И** *ЧС2* = 4 шт./кг. **И** *ВС* = 82% **И** *ПВВТ* = 34% **И** *МС* = 82% **ТО** *УР = 0,5*

Истинно с вероятностью 0,25 (25%);

Эксперт также считает, что утверждение

ЕСЛИ *МТС* = 20 г **И** *ЧС1* = 95% **И** *ЧС2* = 4 шт./кг. **И** *ВС* = 82% **И** *ПВВТ* = 34% **И** *МС* = 82% **ТО** *УР* = 0,575

Истинно с вероятностью 0,7 (70%);

Эксперт также считает, что утверждение

ЕСЛИ *МТС* = 20 г **И** *ЧС1* = 95% **И** *ЧС2* = 4 шт./кг. **И** *ВС* = 82% **И** *ПВВТ* = 34% **И** *МС* = 82% **ТО** *УР* = 0,65

Истинно с вероятностью 0,05 (5%);

Эксперт также считает, что утверждение

ЕСЛИ *МТС* = 20 г **И** *ЧС1* = 95% **И** *ЧС2* = 4 шт./кг. **И** *ВС* = 82% **И** *ПВВТ* = 34% **И** *МС* = 82% **ТО** *УР* = 0,725

Истинно с вероятностью 0 (0%), т.е. это означает, что оно ложно.

Ниже показаны примеры заполнения анкет реальными экспертами (табл. 27-30).

ЛИСТОК ОПРОСА ЭКСПЕРТА №11

Утверждение 21

ЕСЛИ *МТС* = 45 г. **И** *ЧС1* = 99% **И** *ЧС2* = 50 шт./кг. **И** *ВС* = 82% **И** *ПВВТ* = 20% **И** *МС* = 30% **ТО** *УР*= ?

Таблица 23. Эксперт расставляет вероятности истинности вариантов комплексных оценок для утверждения 21

Возможные градации комплексной оценки для вышеуказанного утверждения	Значение комплексной оценки	Требуется расставить вероятности напротив каждого варианта (значения от 0 до 1, при этом в сумме они должны составить 1). Этот столбец требуется заполнить.
Ниже среднего	0.425	0,05
Средний	0.5	0,8
Выше среднего	0.575	0,15
Высокий	0.65	
Очень высокий - высокий	0.725	

Утверждение 22

ЕСЛИ *МТС* = 20 г. **И** *ЧС1* = 96% **И** *ЧС2* = 5 шт./кг. **И** *ВС* = 82% **И** *ПВВТ* = 20% **И** *МС* = 30% **ТО** *УР*= ?

Таблица 24. Эксперт расставляет вероятности истинности вариантов комплексных оценок для утверждения 22

Возможные градации комплексной оценки для вышеуказанного утверждения	Значение комплексной оценки	Требуется расставить вероятности напротив каждого варианта (значения от 0 до 1, при этом в сумме они должны составить 1). Этот столбец требуется заполнить.
Ниже среднего	0.425	
Средний	0.5	0,15
Выше среднего	0.575	0,25
Высокий	0.65	0,1
Очень высокий - высокий	0.725	

Эксперт Доктор.биол.наук М.В. Архипов

Экспертный опрос произвел аспирант Р.Н. Ермаков

10. 03. 2012 г.

ЛИСТОК ОПРОСА ЭКСПЕРТА №45

Утверждение 89

ЕСЛИ *МТС* = 5 г. **И** *ЧС1* = 95% **И** *ЧС2* = 70 шт./кг. **И** *ВС* = 95% **И** *ПВВТ* = 2% **И** *МС* = 33% **ТО** *УР*= ?

Таблица 91. Эксперт расставляет вероятности истинности вариантов комплексных оценок для утверждения 89

Возможные градации комплексной оценки для вышеуказанного утверждения	Значение комплексной оценки	Требуется расставить вероятности напротив каждого варианта (значения от 0 до 1, при этом в сумме они должны составить 1). Этот столбец требуется заполнить.
Средний	0.5	
Выше среднего	0.575	
Высокий	0.65	
Очень высокий - высокий	0.725	0,05
Очень высокий	0.8	0,95

Утверждение 90

ЕСЛИ *МТС* = 55 г. **И** *ЧС1* = 95% **И** *ЧС2* = 70 шт./кг. **И** *ВС* = 95% **И** *ПВВТ* = 2% **И** *МС* = 33% **ТО** *УР*= ?

Таблица 92. Эксперт расставляет вероятности истинности вариантов комплексных оценок для утверждения 90

Возможные градации комплексной оценки для вышеуказанного утверждения	Значение комплексной оценки	Требуется расставить вероятности напротив каждого варианта (значения от 0 до 1, при этом в сумме они должны составить 1). Этот столбец требуется заполнить.
Ниже среднего	0.425	0,1
Средний	0.5	0,9
Выше среднего	0.575	
Высокий	0.65	
Очень высокий - высокий	0.725	
Очень высокий	0.8	

Эксперт Доктор.биол.наук М.В. Архипов

Экспертный опрос произвел аспирант Р.Н. Ермаков

10. 03. 2012 г.

ЛИСТОК ОПРОСА ЭКСПЕРТА №46

Утверждение 91

ЕСЛИ *МТС* = 5 г. **И** *ЧС1* = 99.7% **И** *ЧС2* = 70 шт./кг. **И** *ВС* = 80% **И** *ПВВТ* = 2% **И** *МС* = 33% **ТО** *УР*= ?

Таблица 93. Эксперт расставляет вероятности истинности вариантов комплексных оценок для утверждения 91

Возможные градации комплексной оценки для вышеуказанного утверждения	Значение комплексной оценки	Требуется расставить вероятности напротив каждого варианта (значения от 0 до 1, при этом в сумме они должны составить 1). Этот столбец требуется заполнить.
Средний	0.5	
Выше среднего	0.575	
Высокий	0.65	
Очень высокий - высокий	0.725	0,05
Очень высокий	0.8	0,95

Утверждение 92

ЕСЛИ *МТС* = 55 г. **И** *ЧС1* = 99.7% **И** *ЧС2* = 70 шт./кг. **И** *ВС* = 95% **И** *ПВВТ* = 2% **И**

МС = 33% **ТО** *УР*= ?

Таблица 94. Эксперт расставляет вероятности истинности вариантов комплексных оценок для утверждения 92

Возможные градации комплексной оценки для вышеуказанного утверждения	Значение комплексной оценки	Требуется расставить вероятности напротив каждого варианта (значения от 0 до 1, при этом в сумме они должны составить 1). Этот столбец требуется заполнить.
Ниже среднего	0.425	0,1
Средний	0.5	0,9
Выше среднего	0.575	
Высокий	0.65	
Очень высокий - высокий	0.725	
Очень высокий	0.8	

Эксперт Доктор.биол.наук М.В. Архипов

Экспертный опрос произвел аспирант Р.Н. Ермаков

10.03.2012 г.

ЛИСТОК ОПРОСА ЭКСПЕРТА №53

Утверждение 105

ЕСЛИ *МТС* = 5 г. **И** *ЧС1* = 95% **И** *ЧС2* = 70 шт./кг. **И** *ВС* = 80% **И** *ПВВТ* = 40% **И** *МС* = 13% **ТО** *УР*= ?

Таблица 107. Эксперт расставляет вероятности истинности вариантов комплексных оценок для утверждения 105

Возможные градации комплексной оценки для вышеуказанного утверждения	Значение комплексной оценки	Требуется расставить вероятности напротив каждого варианта (значения от 0 до 1, при этом в сумме они должны составить 1). Этот столбец требуется заполнить.
Средний	0.5	
Выше среднего	0.575	
Высокий	0.65	
Очень высокий - высокий	0.725	0,05
Очень высокий	0.8	0,95

Утверждение 106

ЕСЛИ *МТС* = 55 г. **И** *ЧС1* = 95% **И** *ЧС2* = 70 шт./кг. **И** *ВС* = 95% **И** *ПВВТ* = 40% **И** *МС* = 13% **ТО** *УР*= ?

Таблица 108. Эксперт расставляет вероятности истинности вариантов комплексных оценок для утверждения 106

Возможные градации комплексной оценки для вышеуказанного утверждения	Значение комплексной оценки	Требуется расставить вероятности напротив каждого варианта (значения от 0 до 1, при этом в сумме они должны составить 1). Этот столбец требуется заполнить.
Ниже среднего	0.425	
Средний	0.5	0,9
Выше среднего	0.575	0,1
Высокий	0.65	
Очень высокий - высокий	0.725	
Очень высокий	0.8	

Эксперт Доктор.биол.наук М.В. Архипов

Экспертный опрос произвел аспирант Р.Н. Ермаков

10.03.2012 г.

ЛИСТОК ОПРОСА ЭКСПЕРТА №66

Утверждение 130

ЕСЛИ *МТС* = 32 г. **И** *ЧС1* = 99% **И** *ЧС2* = 18 шт./кг. **И** *ВС* = 88% **И** *ПВВТ* = 19% **И** *МС* = 19% **ТО** *УР*= ?

Таблица 132. Эксперт расставляет вероятности истинности вариантов комплексных оценок для утверждения 130

Возможные градации комплексной оценки для вышеуказанного утверждения	Значение комплексной оценки	Требуется расставить вероятности напротив каждого варианта (значения от 0 до 1, при этом в сумме они должны составить 1). Этот столбец требуется заполнить.
Очень низкий - низкий	0.275	
Низкий	0.35	
Ниже среднего	0.425	0,05
Средний	0.5	0,7
Выше среднего	0.575	0,25
Высокий	0.65	

Утверждение 131

ЕСЛИ *МТС* = 33.4 г. **И** *ЧС1* = 98.5% **И** *ЧС2* = 30 шт./кг. **И** *ВС* = 86% **И** *ПВВТ* = 21% **И** *МС* = 26%

ТО *УР*= ?

Таблица 133. Эксперт расставляет вероятности истинности вариантов комплексных оценок для утверждения 131

Возможные градации комплексной оценки для вышеуказанного утверждения	Значение комплексной оценки	Требуется расставить вероятности напротив каждого варианта (значения от 0 до 1, при этом в сумме они должны составить 1). Этот столбец требуется заполнить.
Низкий	0.35	
Ниже среднего	0.425	0,05
Средний	0.5	0,75
Выше среднего	0.575	0,2
Высокий	0.65	

Эксперт Доктор.биол.наук М.В. Архипов

Экспертный опрос произвел аспирант Р.Н. Ермаков

10.03.2012 г.

Лист опроса эксперта № 1

В следующих таблицах требуется согласно приведенному выше примеру дать ответы (на 129 утверждений).

Утверждение 1

ЕСЛИ *МТС* = 35 г **И** *ЧС1* = 98% **И** *ЧС2* = 20 шт./кг. **И** *ВС* = 89% **И** *ПВВТ* = 20% **И** *МС* = 75% **ТО** *УР* = ?

Таблица 3. Эксперт расставляет вероятности истинности вариантов комплексных оценок для утверждения 1

Возможные градации комплексной оценки для вышеуказанного утверждения	Значение комплексной оценки	Требуется расставить вероятности напротив каждого варианта (значения от 0 до 1, при этом в сумме они должны составить 1). Этот столбец требуется заполнить.
Низкий	0.35	0
Ниже среднего	0.425	0,3
Средний	0.5	0,5
Выше среднего	0.575	0,2
Высокий	0.65	0

Утверждение 2

ЕСЛИ *МТС* = 20 г **И** *ЧС1* = 96% **И** *ЧС2* = 50 шт./кг. **И** *ВС* = 82% **И** *ПВВТ* = 34% **И** *МС* = 70% **ТО** *УР* = ?

Таблица 4. Эксперт расставляет вероятности истинности вариантов комплексных оценок для утверждения 2

Возможные градации комплексной оценки для вышеуказанного утверждения	Значение комплексной оценки	Требуется расставить вероятности напротив каждого варианта (значения от 0 до 1, при этом в сумме они должны составить 1). Этот столбец требуется заполнить.
Средний	0.5	0
Выше среднего	0.575	0,1
Высокий	0.65	0,6
Очень высокий - высокий	0.725	0,2
Очень высокий	0.8	0,1

Эксперт Канд. биол. наук Л.П. Гусакова

Экспертный опрос провел аспирант Р.Н. Ермаков

02.03.2012 г.

Лист опроса эксперта №2

Утверждение 3

ЕСЛИ *МТС* = 45 г. **И** *ЧС1* = 96% **И** *ЧС2* = 50 шт./кг. **И** *ВС* = 82% **И** *ПВВТ* = 34% **И** *МС* = ~~70~~ 30% **ТО** *УР*= ?

Таблица 5. Эксперт расставляет вероятности истинности вариантов комплексных оценок для утверждения 3

Возможные градации комплексной оценки для вышеуказанного утверждения	Значение комплексной оценки	Требуется расставить вероятности напротив каждого варианта (значения от 0 до 1, при этом в сумме они должны составить 1). Этот столбец требуется заполнить.
Средний	0.5	0
Выше среднего	0.575	0,1
Высокий	0.65	0,5
Очень высокий - высокий	0.725	0,2
Очень высокий	0.8	0,2

Утверждение 4

ЕСЛИ *МТС* = 20 г. **И** *ЧС1* = 99% **И** *ЧС2* = 50 шт./кг. **И** *ВС* = 82% **И** *ПВВТ* = 34% **И** *МС* = 30% **ТО** *УР*= ?

Таблица 6. Эксперт расставляет вероятности истинности вариантов комплексных оценок для утверждения 4

Возможные градации комплексной оценки для вышеуказанного утверждения	Значение комплексной оценки	Требуется расставить вероятности напротив каждого варианта (значения от 0 до 1, при этом в сумме они должны составить 1). Этот столбец требуется заполнить.
Средний	0.5	0
Выше среднего	0.575	0
Высокий	0.65	0,8
Очень высокий - высокий	0.725	0,1
Очень высокий	0.8	0,1

Эксперт Канд. биол. наук Л.П. Гусакова

Экспертный опрос провел аспирант Р.Н. Ермаков

02.03.2012 г.

Листок опроса эксперта №16

Утверждение 31

ЕСЛИ *МТС* = 45 г. **И** *ЧС1* = 96% **И** *ЧС2* = 5 шт./кг. **И** *ВС* = 92% **И** *ПВВТ* = 20% **И** *МС* = 70% (30%) **ТО** *УР*= ?

Таблица 33. Эксперт расставляет вероятности истинности вариантов комплексных оценок для утверждения 31

Возможные градации комплексной оценки для вышеуказанного утверждения	Значение комплексной оценки	Требуется расставить вероятности напротив каждого варианта (значения от 0 до 1, при этом в сумме они должны составить 1). Этот столбец требуется заполнить.
Низкий	0.35	0
Ниже среднего	0.425	0,2
Средний	0.5	0,8
Выше среднего	0.575	0
Высокий	0.65	0

Утверждение 32

ЕСЛИ *МТС* = 20 г. **И** *ЧС1* = 99% **И** *ЧС2* = 5 шт./кг. **И** *ВС* = 92% **И** *ПВВТ* = 20% **И** *МС* = 70% (30%) **ТО** *УР*= ?

Таблица 34. Эксперт расставляет вероятности истинности вариантов комплексных оценок для утверждения 32

Возможные градации комплексной оценки для вышеуказанного утверждения	Значение комплексной оценки	Требуется расставить вероятности напротив каждого варианта (значения от 0 до 1, при этом в сумме они должны составить 1). Этот столбец требуется заполнить.
Очень низкий	0.2	0
очень низкий - низкий	0.275	0
Низкий	0.35	0
Ниже среднего	0.425	0
Средний	0.5	0,9
Выше ср.	0.575	0,1

Эксперт Канд. биол. наук Л.П. Гусакова

Экспертный опрос провел аспирант Р.Н. Ермаков

02.03.2012 г.

Листок опроса эксперта №19

Утверждение 37

ЕСЛИ *МТС* = 45 г. **И** *ЧС1* = 99% **И** *ЧС2* = 50 шт./кг. **И** *ВС* = 82% **И** *ПВВТ* = 34% **И** *МС* = 82% 18% **ТО** *УР*= ?

Таблица 39. Эксперт расставляет вероятности истинности вариантов комплексных оценок для утверждения 37

Возможные градации комплексной оценки для вышеуказанного утверждения	Значение комплексной оценки	Требуется расставить вероятности напротив каждого варианта (значения от 0 до 1, при этом в сумме они должны составить 1). Этот столбец требуется заполнить.
Низкий	0.35	0
Ниже среднего	0.425	0
Средний	0.5	0
Выше среднего	0.575	0,1
Высокий	0.65	0,9

Утверждение 38

ЕСЛИ *МТС* = 20 г **И** *ЧС1* = 96% **И** *ЧС2* = 5 шт./кг. **И** *ВС* = 82% **И** *ПВВТ* = 34% **И** *МС* = 82% 18% **ТО** *УР* = ?

Таблица 40. Эксперт расставляет вероятности истинности вариантов комплексных оценок для утверждения 38

Возможные градации комплексной оценки для вышеуказанного утверждения	Значение комплексной оценки	Требуется расставить вероятности напротив каждого варианта (значения от 0 до 1, при этом в сумме они должны составить 1). Этот столбец требуется заполнить.
Средний	0.5	0
Выше среднего	0.575	0
Высокий	0.65	0,8
Очень высокий - высокий	0.725	0,2
Очень высокий	0.8	0

Эксперт Канд. биолог. наук Л.П. Гусакова

Экспертный опрос провел аспирант Р.Н. Ермаков

02.03.2012 г.

Листок опроса эксперта № 47

Утверждение 93

67-80%

33%

ЕСЛИ *МТС* = 5 г. **И** *ЧС1* = 95% **И** *ЧС2* = 3 шт./кг. **И** *ВС* = 95% **И** *ПВВТ* = 2% **И** *МС* = 67% **ТО** *УР*= ?

Таблица 95. Эксперт расставляет вероятности истинности вариантов комплексных оценок для утверждения 93

Возможные градации комплексной оценки для вышеуказанного утверждения	Значение комплексной оценки	Требуется расставить вероятности напротив каждого варианта (значения от 0 до 1, при этом в сумме они должны составить 1). Этот столбец требуется заполнить.
Низкий	0.35	0
Ниже среднего	0.425	0
Средний	0.5	0
Выше среднего	0.575	0
Высокий	0.65	0
Очень высокий - высокий	0.725	0
Очень высокий	0.8	1

Утверждение 94

33%

ЕСЛИ *МТС* = 55 г. **И** *ЧС1* = 95% **И** *ЧС2* = 3 шт./кг. **И** *ВС* = 95% **И** *ПВВТ* = 2% **И** *МС* = 67% **ТО** *УР*= ?

Таблица 96. Эксперт расставляет вероятности истинности вариантов комплексных оценок для утверждения 94

Возможные градации комплексной оценки для вышеуказанного утверждения	Значение комплексной оценки	Требуется расставить вероятности напротив каждого варианта (значения от 0 до 1, при этом в сумме они должны составить 1). Этот столбец требуется заполнить.
Низкий	0.35	0
Ниже среднего	0.425	0
Средний	0.5	0
Выше среднего	0.575	0,2
Высокий	0.65	0,8
Очень высокий - высокий	0.725	0
Очень высокий	0.8	0

Эксперт Канд. биол. наук Гусакова Л.П. Гусакова

Экспертный опрос произвел аспирант Р.Н. Ермаков

02.03.2012 г.

Приложение 2. Информационные листки Россельхозцентра.

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ИНФОРМАЦИОННЫЙ ЛИСТОК РОССЕЛЬХОЗЦЕНТРА

107139 Москва, Орликов пер., 1/11
Тел/Факс: (495) 661-09-91,733-98-34, e-mail: rscenter@mail.ru

Качество семян яровых зерновых и зернобобовых в Российской Федерации на 01.03.2012 по данным филиалов ФГБУ «Россельхозцентр»

субъекты Российской Федерации	потребность в семенах, тыс. т	наличие семян, тыс. т	проверено семян, тыс. т	проверенных к наличию %	некондиционных в % к проверенным					кондиционных всего,%	кондиционных всего в 2011 г. %
					всего	по засорённости	по всхожести	по влажности	по засеян. вред.		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ	**6049,5**	**6120**	**5243,5**	**85,6**	**19,6**	**17,8**	**3,1**	**0,8**	**0,2**	**80,3**	**79**
ЦЕНТРАЛЬНЫЙ ОКРУГ	**878,6**	**903,4**	**889,6**	**98,4**	**10,5**	**7,8**	**3,4**	**0,3**	**0,1**	**89,4**	**91,4**
Белгородская область (4)	85,3	85,7	85,7	100	0	0	0	0	0	100	99,1
Брянская область	31,6	34,8	34,8	100	32,5	29,8	4,8	2,2	0	67,4	89,8
Владимирская область	20,6	20,6	20,6	100	18,4	17,9	0	0	0	81,5	72,7
Воронежская область (4)	137,3	157,7	152,1	96,4	0,7	0,2	0,5	0	0	99,2	98,1
Ивановская область	14,5	15	15	100	18,6	17,3	1,3	0	0	81,3	78,5
Калужская область	16,1	15,9	14	88	25,7	24,2	3,5	2,1	0	74,2	82,9
Костромская область	12,7	12,4	12,4	100	25	22,8	3	0	0	74,9	75,5
Курская область (4)	87,6	87,6	87,6	100	3,1	1	3,1	0,1	0,2	96,8	100
Липецкая область (4)	62,5	62,5	62,5	100	12,6	7,3	5,5	0	0	87,3	93,6
Московская область	17,8	19	18,2	95,7	10,1	10,1	0	0	0	89,8	88,1
Орловская область (4)	75,3	74,9	74,9	100	11	0,2	9,6	0,5	0,6	88,9	93
Рязанская область	66,1	66,1	62,3	94,2	20,2	20	0	0,3	0,4	79,7	81,8
Смоленская область ЗАЛАТА	24,7	26,6	26,4	99,2	28,7	27,6	5,3	3	0	71,2	83,4
Тамбовская область (4)	130,3	130,3	130,3	100	3,3	1,7	1,6	0	0,2	96,6	92,9
Тверская область	24,1	21,4	21,2	99	15,5	12,7	5,1	0	0	84,4	88,1
Тульская область	55,1	55,3	54,2	98	27,5	19	14,9	0,7	0,2	72,4	79,2
Ярославская область	16,9	17,5	17,3	98,9	25,2	21,4	6	0,1	0	74,7	84,6
СЕВЕРО-ЗАПАДНЫЙ ОКРУГ	**68,4**	**69**	**68,7**	**99,5**	**17,2**	**13,1**	**7,2**	**0,5**	**0,6**	**82,7**	**83,9**
Республика Карелия	0,9	0,2	0,2	100	12,7	12,7	0	0	0	87,2	100
Республика Коми	1,4	1	0,7	71,2	0	0	0	0	0	100	89,6
Архангельская область	3,8	2,2	2,2	100	3,5	2,6	0,8	0	0	96,4	91,9
Вологодская область	38,5	42,5	42,5	100	12	8	4,9	0	0	88	86,4
Калининградская область	5,9	5,1	5,1	100	76,4	74,5	25,4	5,8	7,8	23,5	30,7
Ленинградская область	9,9	9,9	9,9	100	10,1	4,5	9,4	0	0	89,8	97,5
Новгородская область	4,1	3,1	3,1	100	12,6	10,7	2,9	0	0	87,3	91
Псковская область	3,9	4,8	4,8	100	28	20,6	11,5	1,6	0	71,9	63,2
ЮЖНЫЙ ОКРУГ	**217,9**	**250,8**	**241,3**	**96,8**	**3,5**	**3,2**	**0,2**	**0,1**	**0**	**96,5**	**95,9**
Республика Адыгея	1,5	1,5	1,5	100	22,9	22,9	0	0	0	77	95,7
Республика Калмыкия	8,5	8,2	7,2	87,7	20,8	17,5	3,3	2,7	0	79,1	62,4
Краснодарский край (4)	55,5	65,9	64,8	98,2	0	0	0	0	0	100	100
Астраханская область	4,7	7,6	7,6	100	64,4	60,5	0,5	0	0	35,5	49,1
Волгоградская область (4)	55,8	59	51,6	87,4	3,2	3	0,2	0	0	96,7	91,5
Ростовская область (4)	91,9	108,6	108,6	100	0	0	0	0	0	100	100

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ОКРУГ	**56,1**	**52,1**	**46,1**	**97**	**9,6**	**6,2**	**3,1**	**0**	**0,3**	**90,3**	**85,5**
Республика Дагестан	6,5	5,2	0,5	9,6	100	100	0	0	0	0	33,3
Ингушская Республика	0,7	0,3	0,3	100	66,6	66,6	0	0	0	33,3	32,3
Кабардино-Балкарская Республика	3,9	3,8	2,7	72,4	1,7	1,7	0	0	0	98,2	99,1
Республика Карачаево-Черкесия	5,4	1,9	1,8	93,1	54,8	54,8	0	0	0	45	45,8
Республика Северная Осетия	1,2	0,4	0,4	100	52,1	52,1	0	0	0	47,8	93,6
Чеченская Республика	3,3	0,1	0,1	57,4	75	75	0	0	0	25	52
Ставропольский край (Ч)	35,1	40,4	40,3	99,9	6	2,1	3,5	0	0,3	93,9	92,7
ПРИВОЛЖСКИЙ ОКРУГ	**1862,6**	**1908,7**	**1511,4**	**79,1**	**12**	**10,8**	**1,7**	**0,1**	**0,4**	**87,9**	**92,3**
Республика Башкортостан	291	291	291	100	5,1	3,2	2,1	0,2	0,1	94,8	94,4
Республика Марий Эл	28,2	30	30	100	18,6	14,3	0,6	0,6	3	81,3	84
Республика Мордовия (Ирбис)	60	60	58,2	97	20,4	20,1	1,4	0,5	0,4	79,5	89,4
Республика Татарстан (Ирбис)	379,9	394,1	387,8	98,4	2,4	1,7	0,3	0	0,3	97,5	95,8
Удмуртская Республика (Ирбис)	91,5	92,2	92,2	100	27	25,9	1,3	0	0,1	72,9	59,3
Чувашская Республика (Ирбис)	48,2	48,6	48,6	100	43,6	43,6	0,4	0,7	1,2	56,3	70,8
Кировская область (Эстер)	66,1	66,1	66,1	100	13,4	13,4	3,9	0	0	86,5	81,2
Нижегородская область (Волга)	98,9	96,8	96,8	100	16,4	15,4	0,8	0	0,7	83,5	83,8
Оренбургская область Оренб.М	359,1	371,5	71,7	19,2	13,5	13,1	1,5	0	0,3	86,4	62,6
Пензенская область (Эстер)	68,1	68,1	68,1	100	5,1	3,8	1,1	0,2	0,2	94,8	86,1
Пермский край (Икар)	75	78	78	100	53,2	49,8	10,6	0,6	0	46,7	55,4
Самарская область (Эстер)	75,8	77,9	73	93,7	6,3	5,5	0,8	0	0	93,6	79,1
Саратовская область Тулайков	153,5	160,7	76,2	47,4	7,4	7,4	0	0	0	92,5	85,7
Ульяновская область (Эстер)	67,3	73,6	73,6	100	5,4	2	2,5	0	3,2	94,5	88,2
УРАЛЬСКИЙ ОКРУГ	**877,5**	**882,7**	**667,4**	**75,6**	**40,1**	**38**	**3,3**	**3,3**	**0**	**59,8**	**71,3**
Курганская область Оренбург.ГЕ	271	270,4	191,3	70,7	56,5	56,5	1,4	2,7	0	43,4	63,3
Свердловская область Красногор.	104	104	88,5	85	38,8	36,9	4,7	0,3	0	61,1	67,5
Тюменская область Новый 29	210	210	200,4	95,4	24,5	22,7	1,8	0,8	0	75,4	83,1
Челябинская область (Ч)	292,6	298,3	187	62,6	40,7	36	6,3	7,8	0	59,2	69,2
СИБИРСКИЙ ОКРУГ (Ирбис)	1983,2	1958,1	1732,4	88,4	24,4	23,3	3,4	0,9	0,1	75,5	71,1
Республика Алтай	8,6	3,1	3,1	100	95,8	95,8	38,7	0	0,3	4,1	8,5
Республика Бурятия	27,7	24,4	24,4	100	69,6	67,6	22,7	17,1	0	30,3	27,5
Республика Тыва	3,5	1,2	1,2	100	82,1	74,8	30,3	0	0	17,8	5,4
Республика Хакасия	19,8	20,7	20,7	100	29,5	27,6	7,2	0	0,4	70,4	48,6
Алтайский край	604	604	467,1	77,3	16,8	15,8	0,4	0,1	0,5	83,1	81,2
Красноярский край	273,3	272,3	247,6	90,9	33,7	30,8	5,9	0,7	0	66,2	60,5
Иркутская область	116,3	113,2	113,1	99,9	60,5	59,7	13,2	4,7	0	39,4	28,9
Кемеровская область Ирбис	152,9	152,9	152,9	100	38,4	38,4	6,3	0,2	0	61,5	41,3
Новосибирская область Новосиб	304,1	304,1	304,1	100	11,4	10,7	0,5	0,6	0	88,5	89,8
Омская область Омская 56	362,1	362,1	298,5	82,4	13	12,7	0,1	0,4	0	86,9	87,6
Томская область	77,2	76,4	76,4	100	22,1	18	5,6	0,9	0	77,8	68,3
Забайкальский край	33,5	23,5	23	97,8	71,7	70,8	11,3	0,2	0	28,2	49,7
ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ОКРУГ	**104,4**	**94,5**	**86**	**90,9**	**46,1**	**30,9**	**23,3**	**0,5**	**0**	**53,8**	**38,1**
Республика САХА (Якутия)	5,9	2,1	1,9	90,3	89,8	81,2	16	21,4	0	10,1	13,9
Приморский край	26	23,6	23,6	100	49,6	44,5	8,1	0	0	50,3	38,5
Хабаровский край	1,9	1,9	1,9	100	57,8	47,3	36,8	0	0	42,1	45,4
Амурская область	66,1	63,4	55,1	86,9	41,3	21	30,6	0	0	58,6	38,3
Еврейская автономная область	4,5	3,4	3,4	100	67,6	58,8	5,8	0,8	0	32,3	50

Директор А.М.Малько

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ИНФОРМАЦИОННЫЙ ЛИСТОК
РОССЕЛЬХОЗЦЕНТРА № 11 2014

107139 г. Москва, Орликов пер., 1/11
тел/факс: (495) 661-09-91, 733-98-34, e-mail: rscenter@mail.ru, http//: rosselhoscenter.ru

Качество семян яровых зерновых и зернобобовых культур в Российской Федерации по результатам мониторинга филиалами ФГБУ "Россельхозцентр" на 15 апреля 2014 года.

Субъекты Российской Федерации	Потребность семян, тыс. т	Наличие семян, тыс. т	Некондиционных в % к проверенным					Кондиционных, %	
			всего	по засорённости	по всхожести	по влажности	по заселен. вред.	2014 г.	2013 г.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ	**6071,0**	**6078,0**	**15,9**	**12,6**	**4,4**	**0,8**	**0,1**	**84,0**	**91,3**
ЦЕНТРАЛЬНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ОКРУГ	**892,1**	**923,0**	**4,8**	**3,8**	**1,4**	**0,1**	**0,1**	**95,1**	**97,1**
Белгородская область	85,0	85,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	100,0
Брянская область	30,1	36,7	4,0	3,7	0,3	0,0	0,0	95,9	98,1
Владимирская область	18,9	15,3	29,4	23,5	9,1	0,6	0,1	70,5	80,3
Воронежская область	132,9	161,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	100,0
Ивановская область	13,8	12,3	10,5	9,3	1,7	0,0	0,0	89,4	88,1
Калужская область	14,4	14,4	21,4	20,0	2,1	0,8	0,0	78,5	84,3
Костромская область	11,4	11,3	21,9	16,1	8,2	0,0	0,2	78,0	86,1
Курская область	90,0	90,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	100,0
Липецкая область	70,0	70,0	0,2	0,2	0,2	0,0	0,0	99,7	99,0
Московская область	16,4	18,0	6,4	3,6	2,7	0,0	0,0	93,5	93,0
Орловская область	78,2	82,7	4,4	3,7	0,9	0,0	0,0	95,5	97,0
Рязанская область	69,0	73,0	5,5	3,2	3,6	0,1	0,2	94,4	99,0
Смоленская область	21,9	20,3	28,7	23,8	6,2	3,9	1,3	71,2	90,0
Тамбовская область	136,4	136,4	0,7	0,2	0,4	0,0	0,0	99,2	100,0
Тверская область	18,6	18,5	28,1	25,9	3,2	0,4	0,0	71,8	95,9
Тульская область	70,4	62,9	12,2	10,5	2,6	0,0	0,0	87,7	95,8
Ярославская область	14,5	14,6	24,4	13,8	12,7	1,2	5,7	75,5	75,9
СЕВЕРО-ЗАПАДНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ОКРУГ	**68,2**	**71,1**	**15,5**	**11,0**	**4,5**	**0,2**	**0,2**	**84,4**	**83,7**
Республика Карелия	1,1	0,4	94,3	18,8	0,0	0,0	94,3	5,6	85,8
Республика Коми	1,0	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	87,4
Архангельская область	3,2	2,8	5,9	3,8	2,1	0,0	0,0	94,0	91,6
Вологодская область	36,6	35,9	15,3	8,9	6,9	0,0	0,0	84,6	81,8

Калининградская область	7,9	8,8	49,4	42,3	5,6	2,0	0,5	50,5	60,4
Ленинградская область	9,8	13,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	100,0
Новгородская область	2,8	2,7	3,3	2,6	1,1	0,0	0,0	96,6	92,8
Псковская область	5,7	6,0	10,8	9,9	1,9	0,0	0,0	89,1	90,3
ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ОКРУГ	**270,9**	**281,9**	**2,3**	**2,1**	**0,2**	**0,0**	**0,0**	**97,6**	**98,5**
Республика Адыгея	1,5	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	100,0
Республика Калмыкия	9,7	7,8	12,3	10,9	0,1	1,3	0,0	87,6	92,3
Краснодарский край	56,3	58,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	100,0
Астраханская область	2,9	5,1	33,2	33,2	0,0	0,0	0,0	66,7	79,4
Волгоградская область	82,1	90,4	4,6	3,8	0,8	0,0	0,0	95,3	98,2
Ростовская область	118,4	118,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	100,0
СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ОКРУГ	**59,6**	**52,6**	**7,3**	**6,3**	**1,0**	**0,0**	**0,0**	**92,6**	**91,8**
Республика Дагестан	6,0	3,3	19,2	19,2	0,0	0,0	0,0	80,7	87,0
Ингушская Республика	0,9	0,7	82,7	82,7	0,0	0,0	0,0	17,2	100,0
Кабардино-Балкарская Республика	4,1	4,7	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0	98,9	99,9
Карачаево-Черкесская Республика	2,4	2,6	20,4	17,4	3,0	0,0	0,0	79,5	88,5
Республика Северная Осетия	1,5	1,5	1,3	1,3	0,0	0,0	0,0	98,6	93,4
Чеченская Республика	12,6	4,3	41,5	39,2	2,3	0,0	0,0	58,4	53,5
Ставропольский край	32,1	35,5	1,0	0,0	0,9	0,0	0,0	98,9	93,5
ПРИВОЛЖСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ОКРУГ	**1891,3**	**1910,8**	**10,6**	**8,0**	**3,1**	**0,1**	**0,3**	**89,3**	**94,7**
Республика Башкортостан	295,4	284,9	7,9	5,2	2,3	0,2	0,0	92,0	98,9
Республика Марий Эл	26,5	23,7	23,0	15,6	7,3	0,8	4,7	76,9	83,6
Республика Мордовия	73,0	74,5	8,1	7,3	0,9	0,2	0,5	91,8	97,2
Республика Татарстан	378,4	381,1	4,1	2,0	1,8	0,0	0,6	95,8	98,1
Удмуртская Республика	77,6	77,4	19,0	14,8	5,5	0,0	0,0	80,9	86,5
Чувашская Республика	47,8	49,4	9,7	8,7	1,9	0,2	0,8	90,2	90,8
Пермский край	71,3	70,6	41,4	35,8	11,3	1,2	1,4	58,5	72,1
Кировская область	64,8	64,8	17,7	16,0	4,9	0,0	0,0	82,2	83,8
Нижегородская область	98,0	103,7	9,9	8,0	2,8	0,0	0,0	90,0	93,5
Оренбургская область	343,1	334,9	20,8	16,1	6,4	0,0	0,0	79,1	85,6
Пензенская область	84,2	88,4	2,1	1,3	1,1	0,0	0,1	97,8	98,8
Самарская область	80,5	98,6	3,2	2,1	1,2	0,0	0,5	96,7	99,0
Саратовская область	184,1	187,6	1,6	1,6	0,0	0,0	0,0	98,3	100,0
Ульяновская область	66,5	71,0	9,1	4,9	2,8	0,0	1,3	90,8	94,8
УРАЛЬСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ОКРУГ	**847,2**	**816,6**	**28,1**	**22,5**	**5,5**	**2,0**	**0,0**	**71,8**	**89,6**
Курганская область	257,1	246,4	38,3	30,0	3,2	1,1	0,2	61,6	77,7
Свердловская область	104,0	104,0	28,6	24,2	6,7	0,3	0,0	71,3	86,0
Тюменская область	204,9	204,9	10,0	9,7	0,8	0,0	0,0	89,9	98,7
Челябинская область	281,2	261,2	35,9	27,0	13,2	6,4	0,0	64,0	95,0

СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ОКРУГ	**1972,9**	**1950,5**	**23,5**	**19,5**	**6,2**	**1,5**	**0,0**	**76,4**	**85,7**
Республика Алтай	9,1	6,7	94,1	94,1	40,9	0,0	0,0	5,8	10,6
Республика Бурятия	27,4	22,3	55,0	53,3	11,9	4,7	0,0	44,9	53,6
Республика Тыва	3,3	1,3	96,1	96,1	31,8	0,0	0,0	3,8	34,4
Республика Хакасия	20,1	20,5	58,5	56,0	8,2	0,0	0,4	41,4	68,2
Алтайский край	604,0	604,0	18,8	14,8	3,5	2,0	0,1	81,1	86,3
Забайкальский край	31,5	25,8	59,6	58,1	13,0	1,9	0,0	40,3	51,8
Красноярский край	272,0	266,8	25,1	22,3	9,6	0,0	0,0	74,8	89,6
Иркутская область	119,1	119,1	44,2	41,5	5,7	0,0	0,0	55,7	62,9
Кемеровская область	148,2	147,0	44,9	35,1	13,2	1,0	0,0	55,0	71,7
Новосибирская область	305,2	305,6	16,4	11,1	5,8	3,1	0,0	83,5	92,9
Омская область	362,0	362,0	9,0	8,1	1,5	1,3	0,0	90,9	98,5
Томская область	70,9	69,1	34,2	19,5	17,1	0,0	0,0	65,7	80,1
ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ОКРУГ	**68,0**	**70,8**	**50,7**	**25,5**	**35,8**	**2,9**	**0,1**	**49,2**	**66,9**
Республика САХА (Якутия)	5,9	2,3	74,3	73,9	6,9	10,4	0,0	25,6	57,5
Приморский край	19,2	20,6	56,9	45,1	26,6	8,2	0,0	43,0	57,0
Хабаровский край	1,5	1,6	44,3	44,3	21,3	0,0	0,0	55,6	68,4
Амурская область	39,1	43,8	46,8	11,6	43,1	0,2	0,2	53,1	71,8
Еврейская авт. область	2,3	2,4	50,0	50,0	20,8	0,4	1,6	50,0	41,6

Приложение 3. Матрицы опроса для модели оценивания степени кондиционности семенного материала ЯЗК при посеве.

Экспертами были определены следующие входные факторы, влияющие на оценку степени кондиционности семенного материала яровых зерновых культур при посеве:

x_1 - масса 1000 семян (МТС), г.;

x_2 - чистота семян (сортовая) (ЧС1), %;

x_3 - чистота семян (сорняки) (ЧС2), шт./кг;

x_4 - всхожесть семян (ВС), %;

x_5 - показатель внешней и внутренней травмированности (ПВВТ), %;

x_6 - микробиом семени (МС), %.

Комплексная оценка степени кондиционности семенного материала для проведения сева (Y) является выходным результирующим показателем, создаваемой модели. Уровень риска снижения полевой всхожести (УР СПВ) семян яровых зерновых культур равен разности единицы и оценки степени семенного материала:

УР СПВ = 1 - Y.

Полный вариант матрицы опроса для модели оценивания степени кондиционности семенного материала ЯЗК при посеве приводится в табл. 1.

Т а б л и ц а 1 **Матрица опроса для оценивания степени кондиционности семенного материала при посеве**

№	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	Y
1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0.35
2	1	-1	-1	-1	-1	-1	0.37
3	-1	1	-1	-1	-1	-1	0.35
4	1	1	-1	-1	-1	-1	0.375
5	-1	-1	1	-1	-1	-1	0.35
6	1	-1	1	-1	-1	-1	0.38
7	-1	1	1	-1	-1	-1	0.35
8	1	1	1	-1	-1	-1	0.41
9	-1	-1	-1	1	-1	-1	0.365
10	1	-1	-1	1	-1	-1	0.4

Т а б л и ц а 1 **Матрица опроса для оценивания степени кондиционности семенного материала при посеве (продолжение)**

№	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	Y
11	-1	1	-1	1	-1	-1	0.37
12	1	1	-1	1	-1	-1	0.475
13	-1	-1	1	1	-1	-1	0.4
14	1	-1	1	1	-1	-1	0.5
15	-1	1	1	1	-1	-1	0.425
16	1	1	1	1	-1	-1	0.51
17	-1	-1	-1	-1	1	-1	0.35
18	1	-1	-1	-1	1	-1	0.39
19	-1	1	-1	-1	1	-1	0.35
20	1	1	-1	-1	1	-1	0.395
21	-1	-1	1	-1	1	-1	0.388
22	1	-1	1	-1	1	-1	0.382
23	-1	1	1	-1	1	-1	0.35
24	1	1	1	-1	1	-1	0.41
25	-1	-1	-1	1	1	-1	0.37
26	1	-1	-1	1	1	-1	0.395
27	-1	1	-1	1	1	-1	0.355
28	1	1	-1	1	1	-1	0.51
29	-1	-1	1	1	1	-1	0.47
30	1	-1	1	1	1	-1	0.51
31	-1	1	1	1	1	-1	0.463
32	1	1	1	1	1	-1	0.53
33	-1	-1	-1	-1	-1	1	0.35
34	1	-1	-1	-1	-1	1	0.37
35	-1	1	-1	-1	-1	1	0.35
36	1	1	-1	-1	-1	1	0.388
37	-1	-1	1	-1	-1	1	0.35
38	1	-1	1	-1	-1	1	0.41
39	-1	1	1	-1	-1	1	0.36
40	1	1	1	-1	-1	1	0.415
41	-1	-1	-1	1	-1	1	0.355
42	1	-1	-1	1	-1	1	0.49
43	-1	1	-1	1	-1	1	0.4
44	1	1	-1	1	-1	1	0.52
45	-1	-1	1	1	-1	1	0.47
46	1	-1	1	1	-1	1	0.525
47	-1	1	1	1	-1	1	0.49
48	1	1	1	1	-1	1	0.53
49	-1	-1	-1	-1	1	1	0.35
50	1	-1	-1	-1	1	1	0.47
51	-1	1	-1	-1	1	1	0.38
52	1	1	-1	-1	1	1	0.49
53	-1	-1	1	-1	1	1	0.388
54	1	-1	1	-1	1	1	0.495

Т а б л и ц а 1 **Матрица опроса для оценивания степени кондиционности семенного материала при посеве (продолжение)**

№	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	Y
55	-1	1	1	-1	1	1	0.425
56	1	1	1	-1	1	1	0.52
57	-1	-1	-1	1	1	1	0.46
58	1	-1	-1	1	1	1	0.53
59	-1	1	-1	1	1	1	0.46
60	1	1	-1	1	1	1	0.53
61	-1	-1	1	1	1	1	0.515
62	1	-1	1	1	1	1	0.56
63	-1	1	1	1	1	1	0.53
64	1	1	1	1	1	1	0.65

Приложение 4. Примеры экспертных оценок, полученных от реальных экспертов-агрономов в области погодно-почвенных (агрометеорологических) условий для проведения сева яровых зерновых культур.

Анкета для опроса экспертов

Цель: Определить комплексную оценку влияния внешних погодно-почвенных показателей на уровень риска проведения сева.

Перечень показателей

ВВПП - Весовая влажность почвы перед посевом, %;

ПВО - Прогноз вероятности осадков декадный, %;

ПО - Прогноз осадков декадный, мм;

ТППП- Температура почвы перед посевом, ºС;

ПТВ - Прогноз температуры воздуха декадный, ºС;

ВП - Вид почвы, число от 1 до 13, 1(Ч)-чернозем, 2(К)-каштановая, 3(ДК)-дерново-карбонатный, 4(СЛ)- серая лесная, 5(БЛ) – бурая лесная, 6(Кр)-краснозем, 7(ДП)-дерново-подзолистая, 8(СП)- сильно подзолистая, 9(Т) – тундровая, 10(Г)-горная, 11(А)-арктическая, 12(Б)-болотная, 13(З)-засоленная;

РП - Разновидность почвы, число от 1 до 9, 1(ПР)- песок рыхлый, 2(ПС)-песок связный, 3(С) - супесь, 4(СЛ) - суглинок легкий, 5(СС) – суглинок средний, 6(СТ) – суглинок тяжелый, 7(ГЛ)-глина легкая, 8(ГС)-глина средняя, 9(ГТ)- глина тяжелая

ГЗС - Глубина заделки семян, см.

Постановка задачи:

Необходимо заполнить предложенные таблицы, в которых пустую колонку требуется заполнить вещественными числами от 0 до 1 в зависимости от степени влияния группы показателей на уровень риска не получить всходы

при проведении сева. При этом каждому показателю ставится в соответствие какое-либо из допустимых значений. Уровень риска будем считать числом от 0 до 1 и его возможные значения интерпретировать следующим образом (табл. 1):

Т а б л и ц а 1. **Возможные значения комплексной оценки**

Значения комплексной оценки (градации)	Интерпретация комплексной оценки	Интервалы реальных вероятностей риска того, что не взойдут
0,2	Очень низкий уровень риска	0% ≤ p < 8%
0,275	Между очень низким уровнем риска и низким	8%≤ p < 16%
0,35	Низкий уровень риска	16% ≤ p < 24%
0,425	Уровень риска ниже среднего	24% ≤ p < 30%
0,5	Средний уровень риска	30% ≤ p < 50%
0,575	Уровень риска выше среднего	50% ≤ p < 65%
0,65	Высокий уровень риска	65% ≤ p < 80%
0,725	Уровень риска между высоким и очень высоким	80% ≤ p < 86%
0,8	Очень высокий уровень риска	86% ≤ p < 100%

Пример:

Эксперту предлагается выбрать комплексную оценку уровня риска *УР* (число от нуля до единицы) в зависимости от совокупности предложенных погодно-почвенных показателей. Продукционное правило (будем называть его утверждением) может выглядеть следующим образом:

ЕСЛИ *ВПП* = 42% **И** *ПВО* = 65% **И** *ПО* = 10 мм **И** *ТППП* =3 ^{0}С **И** *ПТВ* = 7^{0}С **И** *ВП*=7(ДП) **И** *ТП*=2(СС) **И** *ГЗС*=4 см **ТО** *УР* = ?

Т а б л и ц а 2. **Пример заполнения.**

Возможные градации комплексной оценки для вышеуказанного утверждения	Значение комплексной оценки	Требуется расставить вероятности напротив каждого варианта (значения от 0 до 1, при этом в сумме они должны составить 1). Этот столбец требуется заполнить.
Ниже среднего	0,425	0,25
Средний	0,5	0,6
Выше среднего	0,575	0,15
Высокий	0,65	0

Интерпретация показанного примера

Эксперт считает, что утверждение

ЕСЛИ *ВПП* = 42% **И** *ПВО* = 65% **И** *ПО* = 10 мм **И** *ТППП* =3 ^{0}С **И** *ПТВ* = 7^{0}С **И** *ВП*=7(ДП) **И** *ТП*=2(СС) **И** *ГЗС*=4 см **ТО** *УР =0,425 (что соответствует реальному интервалу вероятности неуспеха (риска) от 24% до 30%)*

Истинно с вероятностью 0,25 (25%).

Эксперт также считает, что утверждение

ЕСЛИ *ВПП* = 42% **И** *ПВО* = 65% **И** *ПО* = 10 мм **И** *ТППП* =3 ^{0}С **И** *ПТВ* = 7^{0}С **И** *ВП*=7(ДП) **И** *ТП*=2(СС) **И** *ГЗС*=4 см **ТО** *УР = 0,5 (что соответствует реальному интервалу вероятности неуспеха (риска) от 30% до 50%)*

Истинно с вероятностью 0,6 (60%);

Эксперт также считает, что утверждение

ЕСЛИ *ВПП* = 42% **И** *ПВО* = 65% **И** *ПО* = 10 мм **И** *ТППП* =3 ^{0}С **И** *ПТВ* = 7^{0}С **И** *ВП*=7(ДП) **И** *ТП*=2(СС) **И** *ГЗС*=4 см **ТО** *УР = 0,575 (что соответствует реальному интервалу вероятности неуспеха (риска) от 50% до 65%)*

Истинно с вероятностью 0,15 (15%);

Эксперт также считает, что утверждение

ЕСЛИ *ВПП* = 42% **И** *ПВО* = 65% **И** *ПО* = 10 мм **И** *ТППП* =3 ^{0}С **И** *ПТВ* = 7^{0}С **И** *ВП*=7(ДП) **И** *ТП*=2(СС) **И** *ГЗС*=4 см **ТО** *УР = 0,65 (что соответствует реальному интервалу вероятности неуспеха (риска) от 65% до 80%)*

Истинно с вероятностью 0 (0%), т.е. это означает, что оно ложно.

Ниже показан пример заполнения анкеты реальным экспертом (табл. 33-34).

ЛИСТОК ОПРОСА ЭКСПЕРТА №7

Утверждение 13

ЕСЛИ *ВПП* = 35% **И** *ПВО* = 73% **И** *ПО* = 55 мм **И** *ТППП* = 4 ^{0}С **И** *ПТВ* = 12^{0}С **И** *ВП*=7(ЗП) **И** *ТП*=6(СЛ) **И** *ГЗС*=7 см **ТО** *УР* = ?

Таблица 33. Эксперт расставляет вероятности истинности вариантов комплексных оценок для утверждения 13

Возможные градации комплексной оценки для вышеуказанного утверждения	Значение комплексной оценки	Требуется расставить вероятности напротив каждого варианта (значения от 0 до 1, при этом в сумме они должны составить 1). Этот столбец требуется заполнить.
Очень низкий	0.2	
Очень низкий - низкий	0.275	0,2
Низкий	0.35	0,2
Ниже среднего	0.425	0,2
Средний	0.5	0,4
Выше среднего	0.575	
Высокий	0.65	

Утверждение 14

ЕСЛИ *ВПП* = 60% **И** *ПВО* = 73% **И** *ПО* = 55 мм **И** *ТППП* = 4 ^{0}С **И** *ПТВ* = 12^{0}С **И** *ВП*=7(ЗП) **И** *ТП*=6(СЛ) **И** *ГЗС*=4 см **ТО** *УР* = ?

Таблица 34. Эксперт расставляет вероятности истинности вариантов комплексных оценок для утверждения 14

Возможные градации комплексной оценки для вышеуказанного утверждения	Значение комплексной оценки	Требуется расставить вероятности напротив каждого варианта (значения от 0 до 1, при этом в сумме они должны составить 1). Этот столбец требуется заполнить.
Очень низкий	0.2	0,1
Очень низкий - низкий	0.275	0,2
Низкий	0.35	0,5
Ниже среднего	0.425	0,2
Средний	0.5	
Выше среднего	0.575	
Высокий	0.65	

Эксперт экс. Руководитель СЗР в СПб и Лен. Обл. А.Б. Глущенко

Экспертный опрос произвел аспирант Р.Н. Ермаков

20.03.2012 г.

Приложение 5. Нечеткие модели, входящие в состав алгоритма оценивания агроклиматических условий для проведения сева яровых зерновых культур.

На основе мнений экспертов были выделены следующие входные факторы, влияющие на оценку агроклиматических условий для проведения сева яровых зерновых культур:

x_1 - весовая влажность почвы перед посевом (ВВПП), %;

x_2 - прогноз вероятности осадков декадный (ПВО), %;

x_3 - прогноз осадков декадный (ПО), мм;

x_4 - температура почвы перед посевом (ТППП), ºС;

x_5 - прогноз температуры воздуха декадный (ПТВ), ºС;

x_6 - вид почвы (ВП), число от 1 до 13, 1(Ч)-чернозем, 2(К)-каштановая, 3(ДК) дерново-карбонатный, 4(СЛ)- серая лесная, 5(БЛ) – бурая лесная, 6(Кр)-краснозем, 7(ДП)-дерново-подзолистая, 8(СП)- сильно подзолистая, 9(Т) – тундровая, 10(Г)-горная, 11(А)-арктическая, 12(Б)-болотная, 13(З)-засоленная;

x_7 - Разновидность почвы (РП), число от 1 до 9, 1(ПР)- песок рыхлый, 2(ПС)-песок связный, 3(С) - супесь, 4(СЛ) - суглинок легкий, 5(СС) – суглинок средний, 6(СТ) – суглинок тяжелый, 7(ГЛ)-глина легкая, 8(ГС)-глина средняя, 9(ГТ)- глина тяжелая;

x_8 - Глубина заделки семян (ГЗС), см.

Ограничения входных факторных пространств (X1,…X8) для *второй* модели выглядят следующим образом:

(x_1 > 2% & x_1 < 32%) & (x_2 > 10% & x_2 < 97%) & (x_3 > 0мм & x_3 < 90мм) & (x_4 > 0 ºC & x_4 < 5 ºC) & (x_5 > 0 ºC & x_5 < 18 ºC) & (x_6 > 1 & x_6 < 13) & (x_7 > 5 & x_7 < 9) & (x_8 > 3см & x_8 < 12см). (5.2.1)

Соответствие значений входных ЛП для *второй* модели показано в табл. 1.

Математической обработкой результатов опроса по матрице планирования для *второй* модели получена следующая зависимость:

$$Y_2=0.4567+0.0472x_2+0.0534x_3+0.04457x_4+0.0605x_5+0.01175x_6+0.028x_7+0.0216x_8+0.0101x_1x_6-0.00796x_2x_4+0.0127x_1x_4x_5-0.00767x_3x_4x_5. \quad (5.2.2)$$

Характеристики надежности и качества полученной математической модели (5.2.2) подтверждают ее практическую целесообразность и имеют следующий вид:

σ=0.035; $\sigma^2_{ост}$ = 0.0013; $\sigma^2_{факт}$ = 0.29; $F_{факт}$ = 222.54; $F_{табл}$ ≈ 1.85; $d(A)$ = 0.072, где σ – стандартное отклонение, $\sigma_{ост}$ – остаточная дисперсия, $\sigma_{факт}$ - факторная дисперсия, $F_{факт}$– фактическая величина F-отношения (критерий Фишера), $F_{табл}$ – F-теоретическое (рассчитано по таблице значений F при уровне вероятности P = 0.05 и количестве степеней свободы (m-1)/(n-m) = (12-1)/(256-12), при этом m - количество параметров в уравнении, учитывая свободный член, n - количество наблюдений), $d(A)$ - коэффициент нечеткости эксперта.

Т а б л и ц а 1. **Соответствие значений входных ЛП для 2-й модели оценивания АКУ**

X_1			X_2		
Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале	Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале
Низкая ВВПП	(4, 2, 14)	-1	Низкий ПВО	(36, 26, 18.5)	-1
Средняя ВВПП	(18, 14, 14)	0	Средний ПВО	(54.5, 18.5, 18.5)	0
Высокая ВВПП	(32, 18, 0)	1	Высокий ПВО	(73, 18.5, 24)	1
X_3			X_4		
Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале	Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале
Низкий ПО	(25, 25, 32.5)	-1	Низкая ТППП	(2, 2, 1.5)	-1
Средний ПО	(57.5, 32.5, 32.5)	0	Средняя ТППП	(3.5, 1.5, 1.5)	0
Высокий ПО	(90, 32.5 ,0)	1	Высокая ТППП	(5, 1.5, 0)	1
X_5			X_6		
Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале	Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале
Низкий ПТВ	(2, 2, 8)	-1	Плодородн. ВП	(1, 0, 3)	1
Средний ПТВ	(10, 8, 8)	0	Средний ВП	(4, 3, 3)	0
Высокий ПТВ	(18, 8, 0)	1	Неплодород. ВП	(7, 3, 6)	-1
X_7			X_8		
Смысл	Значение	Значение моды в неч. шкале	Смысл	Значение	Значение моды в неч. шкале
Суглин. РП	(5, 0, 1)	1	Малая ГЗС	(4, 1, 1.5)	1
Тяжелые-сугл. РП	(6, 1, 1)	0	Средняя ГЗС	(5.5, 1.5, 1.5)	0
Тяжелые РП	(7, 1, 2)	-1	Высокая ГЗС	(7, 1.5, 5)	-1

Ограничения входных факторных пространств (X1,…X8) для *третьей* модели выглядят следующим образом:

(x_1 > 2% & x_1 < 32%) & (x_2 > 10% & x_2 < 97%) & (x_3 > 0мм & x_3 < 90мм) & (x_4 > 0 ºC & x_4 < 5 ºC) & (x_5 > 18 ºC & x_5 < 28 ºC) & (x_6 > 1 & x_6 < 13) & (x_7 > 1 & x_7 < 5) & (x_8 > 3см & x_8 < 12см). (5.2.3)

Соответствие значений входных ЛП для *третьей* модели показано в табл. 2.

Математической обработкой результатов опроса по матрице планирования для *третьей* модели получена следующая зависимость:

$$Y_3=0.45749+0.0497x_2+0.05359x_3+0.0474x_4+0.0494x_5+0.0134x_6+0.0394x_7+$$
$$0.0141x_8-0.0099x_2x_4+0.0082\ x_1x_2x_4+0.0097x_1x_2x_5+0.0106x_1x_4x_5-0.007665\ x_3\ x_4\ x_5. \quad (5.2.4)$$

Характеристики надежности и качества полученной математической модели (5.2.4) подтверждают ее практическую целесообразность и имеют следующий вид:

σ=0.034; $\sigma^2_{ост}$ = 0.00127; $\sigma^2_{факт}$ = 0.264; $F_{факт}$ = 208.03; $F_{табл}$ ≈ 1.79; $d(A)$ = 0.072, где σ – стандартное отклонение, $\sigma_{ост}$ – остаточная дисперсия, $\sigma_{факт}$ - факторная дисперсия, $F_{факт}$– фактическая величина *F*-отношения (критерий Фишера), $F_{табл}$ – *F*-теоретическое (рассчитано по таблице значений *F* при уровне вероятности *P* = 0.05 и количестве степеней свободы (m-1)/(n-m) = (13-1)/(256-13), при этом m - количество параметров в уравнении, учитывая свободный член, n - количество наблюдений), $d(A)$ - коэффициент нечеткости эксперта.

Т а б л и ц а 2. **Соответствие значений входных ЛП для 3-й модели оценивания АКУ**

X_1			X_2		
Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале	Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале
Низкая ВВПП	(4, 2, 14)	-1	Низкий ПВО	(36, 26, 18.5)	-1
Средняя ВВПП	(18, 14, 14)	0	Средний ПВО	(54.5, 18.5, 18.5)	0
Высокая ВВПП	(32, 18, 0)	1	Высокий ПВО	(73, 18.5, 24)	1
X_3			X_4		
Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале	Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале
Низкий ПО	(25, 25, 32.5)	-1	Низкая ТППП	(2, 2, 1.5)	-1
Средний ПО	(57.5, 32.5, 32.5)	0	Средняя ТППП	(3.5, 1.5, 1.5)	0
Высокий ПО	(90, 32.5 ,0)	1	Высокая ТППП	(5, 1.5, 0)	1
X_5			X_6		
Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале	Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале
Низкий ПТВ	(18, 0, 5)	-1	Плодородн. ВП	(1, 0, 3)	1
Средний ПТВ	(23, 5, 5)	0	Средний ВП	(4, 3, 3)	0
Высокий ПТВ	(28, 5, 4)	1	Неплодород. ВП	(7, 3, 6)	-1
X_7			X_8		
Смысл	Значение	Значение моды в неч. шкале	Смысл	Значение	Значение моды в неч. шкале
Легкие РП	(3, 2, 2)	-1	Малая ГЗС	(4, 1, 1.5)	1
Лег-сугл. РП	(4, 1, 1)	0	Средняя ГЗС	(5.5, 1.5, 1.5)	0
Суглин. РП	(5, 1, 0)	1	Высокая ГЗС	(7, 1.5, 5)	-1

Ограничения входных факторных пространств (X1,…X8) для *четвертой* модели выглядят следующим образом:

(x_1 > 2% & x_1 < 32%) & (x_2 > 10% & x_2 < 97%) & (x_3 > 0мм & x_3 < 90мм) & (x_4 > 0 ºC & x_4 < 5 ºC) & (x_5 > 18 ºC & x_5 < 28 ºC) & (x_6 > 1 & x_6 < 13) & (x_7 > 5 & x_7 < 9) & (x_8 > 3см & x_8 < 12см). (5.2.5)

Соответствие значений входных ЛП для *четвертой* модели показано в табл. 3.

Математической обработкой результатов опроса по матрице планирования для *четвертой* модели получена следующая зависимость:

$$Y_4=0.4585+0.048x_2+0.05355x_3+0.04468x_4+0.06044x_5+0.00996x_6+0.0257x_7+0.0195x_8$$
$$+0.00818x_1x_5+0.0092\ x_1x_6-0.00849x_2x_4+0.0079x_1x_2x_5+0.01289x_1x_4x_5+0.0077x_2x_4x_6. \quad (5.2.6)$$

Характеристики надежности и качества полученной математической модели (5.2.6) подтверждают ее практическую целесообразность и имеют следующий вид:

σ=0.0338; $\sigma^2_{ост}$ = 0.0012; $\sigma^2_{факт}$ = 0.2456; $F_{факт}$ = 203.06; $F_{табл}$ ≈ 1.78; $d(A)$ = 0.072, где σ – стандартное отклонение, $\sigma_{ост}$ – остаточная дисперсия, $\sigma_{факт}$ - факторная дисперсия, $F_{факт}$– фактическая величина F-отношения (критерий Фишера), $F_{табл}$ – F-теоретическое (рассчитано по таблице значений F при уровне вероятности P = 0.05 и количестве степеней свободы (m-1)/(n-m) = (14-1)/(256-14), при этом m - количество параметров в уравнении, учитывая свободный член, n - количество наблюдений), $d(A)$ - коэффициент нечеткости эксперта.

Т а б л и ц а 3. **Соответствие значений входных ЛП для 4-й модели оценивания АКУ**

X_1			X_2		
Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале	Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале
Низкая ВВПП	(4, 2, 14)	-1	Низкий ПВО	(36, 26, 18.5)	-1
Средняя ВВПП	(18, 14, 14)	0	Средний ПВО	(54.5, 18.5, 18.5)	0
Высокая ВВПП	(32, 18, 0)	1	Высокий ПВО	(73, 18.5, 24)	1
X_3			X_4		
Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале	Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале
Низкий ПО	(25, 25, 32.5)	-1	Низкая ТППП	(2, 2, 1.5)	-1
Средний ПО	(57.5, 32.5, 32.5)	0	Средняя ТППП	(3.5, 1.5, 1.5)	0
Высокий ПО	(90, 32.5 ,0)	1	Высокая ТППП	(5, 1.5, 0)	1
X_5			X_6		
Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале	Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале
Низкий ПТВ	(18, 0, 5)	-1	Плодородн. ВП	(1, 0, 3)	1
Средний ПТВ	(23, 5, 5)	0	Средний ВП	(4, 3, 3)	0
Высокий ПТВ	(28, 5, 4)	1	Неплодород. ВП	(7, 3, 6)	-1
X_7			X_8		
Смысл	Значение	Значение моды в неч. шкале	Смысл	Значение	Значение моды в неч. шкале
Суглин. РП	(5, 0, 1)	1	Малая ГЗС	(4, 1, 1.5)	1
Тяжелые-сугл. РП	(6, 1, 1)	0	Средняя ГЗС	(5.5, 1.5, 1.5)	0
Тяжелые РП	(7, 1, 2)	-1	Высокая ГЗС	(7, 1.5, 5)	-1

Ограничения входных факторных пространств (X1,…X8) для *пятой* модели выглядят следующим образом:

(x_1 > 2% & x_1 < 32%) & (x_2 > 10% & x_2 < 97%) & (x_3 > 0мм & x_3 < 90мм) & (x_4 > 5 ºC & x_4 < 21 ºC) & (x_5 > 0 ºC & x_5 < 18 ºC) & (x_6 > 1 & x_6 < 13) & (x_7 > 1 & x_7 < 5) & (x_8 > 3см & x_8 < 12см). (5.2.7)

Соответствие значений входных ЛП для *пятой* модели показано в таблице 4.

Математической обработкой результатов опроса по матрице планирования для *пятой* модели получена следующая зависимость:

$$Y_5=0.48+0.01625x_1+0.0311x_2+0.0384x_3+0.01656x_4+0.0175x_5+0.0207x_6+0.0411x_7+0.0132x_8 - 0.0117x_2x_3-0.01406\,x_4x_5-0.0073x_2x_3x_5. \quad (5.2.8)$$

Характеристики надежности и качества полученной математической модели (5.2.8) подтверждают ее практическую целесообразность и имеют следующий вид:

σ=0.0167; $\sigma^2_{ост}$ = 0.000294; $\sigma^2_{факт}$ = 0.13884; $F_{факт}$ = 471.86; $F_{табл}$ ≈ 1.84; $d(A) = 0.072$, где σ – стандартное отклонение, $\sigma_{ост}$ – остаточная дисперсия, $\sigma_{факт}$ - факторная дисперсия, $F_{факт}$– фактическая величина *F*-отношения (критерий Фишера), $F_{табл}$ – *F*-теоретическое (рассчитано по таблице значений *F* при уровне вероятности *P* = 0.05 и количестве степеней свободы (m-1)/(n-m) = (12-1)/(256-12), при этом m - количество параметров в уравнении, учитывая свободный член, n - количество наблюдений), $d(A)$ - коэффициент нечеткости эксперта.

Т а б л и ц а 4. **Соответствие значений входных ЛП для 5-й модели оценивания АКУ**

X_1			X_2		
Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале	Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале
Низкая ВВПП	(4, 2, 14)	-1	Низкий ПВО	(36, 26, 18.5)	-1
Средняя ВВПП	(18, 14, 14)	0	Средний ПВО	(54.5, 18.5, 18.5)	0
Высокая ВВПП	(32, 18, 0)	1	Высокий ПВО	(73, 18.5, 24)	1
X_3			X_4		
Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале	Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале
Низкий ПО	(25, 25, 32.5)	-1	Низкая ТППП	(5, 0, 3.5)	-1
Средний ПО	(57.5, 32.5, 32.5)	0	Средняя ТППП	(8.5, 3.5, 3.5)	0
Высокий ПО	(90, 32.5 ,0)	1	Высокая ТППП	(12, 3.5, 8)	1
X_5			X_6		
Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале	Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале
Низкий ПТВ	(2, 2, 8)	-1	Плодородн. ВП	(1, 0, 3)	1
Средний ПТВ	(10, 8, 8)	0	Средний ВП	(4, 3, 3)	0
Высокий ПТВ	(18, 8, 0)	1	Неплодород. ВП	(7, 3, 6)	-1
X_7			X_8		
Смысл	Значение	Значение моды в неч. шкале	Смысл	Значение	Значение моды в неч. шкале
Легкие РП	(3, 2, 2)	-1	Малая ГЗС	(4, 1, 1.5)	1
Лег-сугл. РП	(4, 1, 1)	0	Средняя ГЗС	(5.5, 1.5, 1.5)	0
Суглин. РП	(5, 1, 0)	1	Высокая ГЗС	(7, 1.5, 5)	-1

Ограничения входных факторных пространств (X1,…X8) для *шестой* модели выглядят следующим образом:

(x_1 > 2% & x_1 < 32%) & (x_2 > 10% & x_2 < 97%) & (x_3 > 0мм & x_3 < 90мм) & (x_4 > 5 ºС & x_4 < 21 ºС) & (x_5 > 0 ºС & x_5 < 18 ºС) & (x_6 > 1 & x_6 < 13) & (x_7 > 5 & x_7 < 9) & (x_8 > 3см & x_8 < 12см). (5.2.9)

Соответствие значений входных ЛП для *шестой* модели показано в таблице 5.

Математической обработкой результатов опроса по матрице планирования для *шестой* модели получена следующая зависимость:

$$Y_6=0.5013+0.0157x_1+0.0285x_2+0.0374x_3+0.0156x_4+0.019x_5+0.0251x_6+0.0197x_7+0.0191x_8 - 0.00795x_2x_3-0.0153\ x_4x_5-0.0071x_2x_3x_4-0.0078x_2x_3x_5. \quad (5.2.10)$$

Характеристики надежности и качества полученной математической модели (5.2.10) подтверждают ее практическую целесообразность и имеют следующий вид:

σ=0.0166; $\sigma^2_{ост}$ = 0.00029; $\sigma^2_{факт}$ = 0.10354; $F_{факт}$ = 357.48; $F_{табл}$ ≈ 1.79; $d(A) = 0.072$, где σ – стандартное отклонение, $\sigma_{ост}$ – остаточная дисперсия, $\sigma_{факт}$ - факторная дисперсия, $F_{факт}$– фактическая величина *F*-отношения (критерий Фишера), $F_{табл}$ – *F*-теоретическое (рассчитано по таблице значений *F* при уровне вероятности *P* = 0.05 и количестве степеней свободы (m-1)/(n-m) = (13-1)/(256-13), при этом m - количество параметров в уравнении, учитывая свободный член, n - количество наблюдений), $d(A)$ - коэффициент нечеткости эксперта.

Т а б л и ц а 5. **Соответствие значений входных ЛП для 6-й модели оценивания АКУ**

X_1			X_2		
Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале	Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале
Низкая ВВПП	(4, 2, 14)	-1	Низкий ПВО	(36, 26, 18.5)	-1
Средняя ВВПП	(18, 14, 14)	0	Средний ПВО	(54.5, 18.5, 18.5)	0
Высокая ВВПП	(32, 18, 0)	1	Высокий ПВО	(73, 18.5, 24)	1
X_3			X_4		
Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале	Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале
Низкий ПО	(25, 25, 32.5)	-1	Низкая ТППП	(5, 0, 3.5)	-1
Средний ПО	(57.5, 32.5, 32.5)	0	Средняя ТППП	(8.5, 3.5, 3.5)	0
Высокий ПО	(90, 32.5 ,0)	1	Высокая ТППП	(12, 3.5, 8)	1
X_5			X_6		
Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале	Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале
Низкий ПТВ	(2, 2, 8)	-1	Плодородн. ВП	(1, 0, 3)	1
Средний ПТВ	(10, 8, 8)	0	Средний ВП	(4, 3, 3)	0
Высокий ПТВ	(18, 8, 0)	1	Неплодород. ВП	(7, 3, 6)	-1
X_7			X_8		
Смысл	Значение	Значение моды в неч. шкале	Смысл	Значение	Значение моды в неч. шкале
Суглин. РП	(5, 0, 1)	1	Малая ГЗС	(4, 1, 1.5)	1
Тяжелые-сугл. РП	(6, 1, 1)	0	Средняя ГЗС	(5.5, 1.5, 1.5)	0
Тяжелые РП	(7, 1, 2)	-1	Высокая ГЗС	(7, 1.5, 5)	-1

Ограничения входных факторных пространств (X1,…X8) для *седьмой* модели выглядят следующим образом:

(x_1 > 2% & x_1 < 32%) & (x_2 > 10% & x_2 < 97%) & (x_3 > 0мм & x_3 < 90мм) & (x_4 > 5 ºC & x_4 < 21 ºC) & (x_5 > 18 ºC & x_5 < 32 ºC) & (x_6 > 1 & x_6 < 13) & (x_7 > 1 & x_7 < 5) & (x_8 > 3см & x_8 < 12см). (5.2.11)

Соответствие значений входных ЛП для *седьмой* модели показано в таблице 6.

Математической обработкой результатов опроса по матрице планирования для *седьмой* модели получена следующая зависимость:

$$Y_7=0.4163+0.03018x_1+0.029x_2+0.04x_3+0.0186x_4+0.03807x_5+0.01904x_6+0.0309x_7+0.01166x_8 - 0.0131x_1x_3+0.0074\,x_4x_5+0.008x_3x_4. \quad (5.2.12)$$

Характеристики надежности и качества полученной математической модели (5.2.12) подтверждают ее практическую целесообразность и имеют следующий вид:

σ=0.0239; $\sigma^2_{ост}$ = 0.0006; $\sigma^2_{факт}$ = 0.10354; $F_{факт}$ = 267.49; $F_{табл}$ ≈ 1.84; $d(A)$ = 0.072, где σ – стандартное отклонение, $\sigma_{ост}$ – остаточная дисперсия, $\sigma_{факт}$ - факторная дисперсия, $F_{факт}$– фактическая величина F-отношения (критерий Фишера), $F_{табл}$ – F-теоретическое (рассчитано по таблице значений F при уровне вероятности P = 0.05 и количестве степеней свободы (m-1)/(n-m) = (12-1)/(256-12), при этом m - количество параметров в уравнении, учитывая свободный член, n - количество наблюдений), $d(A)$ - коэффициент нечеткости эксперта.

Т а б л и ц а 6. **Соответствие значений входных ЛП для 7-й модели оценивания АКУ**

X_1			X_2		
Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале	Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале
Низкая ВВПП	(4, 2, 14)	-1	Низкий ПВО	(36, 26, 18.5)	-1
Средняя ВВПП	(18, 14, 14)	0	Средний ПВО	(54.5, 18.5, 18.5)	0
Высокая ВВПП	(32, 18, 0)	1	Высокий ПВО	(73, 18.5, 24)	1
X_3			X_4		
Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале	Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале
Низкий ПО	(25, 25, 32.5)	-1	Низкая ТППП	(5, 0, 3.5)	-1
Средний ПО	(57.5, 32.5, 32.5)	0	Средняя ТППП	(8.5, 3.5, 3.5)	0
Высокий ПО	(90, 32.5 ,0)	1	Высокая ТППП	(12, 3.5, 8)	1
X_5			X_6		
Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале	Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале
Низкий ПТВ	(18, 0, 5)	-1	Плодородн. ВП	(1, 0, 3)	1
Средний ПТВ	(23, 5, 5)	0	Средний ВП	(4, 3, 3)	0
Высокий ПТВ	(28, 5, 4)	1	Неплодород. ВП	(7, 3, 6)	-1
X_7			X_8		
Смысл	Значение	Значение моды в неч. шкале	Смысл	Значение	Значение моды в неч. шкале
Легкие РП	(3, 2, 2)	-1	Малая ГЗС	(4, 1, 1.5)	1
Лег-сугл. РП	(4, 1, 1)	0	Средняя ГЗС	(5.5, 1.5, 1.5)	0
Суглин. РП	(5, 1, 0)	1	Высокая ГЗС	(7, 1.5, 5)	-1

Ограничения входных факторных пространств (X1,…X8) для *восьмой* модели выглядят следующим образом:

(x_1 > 2% & x_1 < 32%) & (x_2 > 10% & x_2 < 97%) & (x_3 > 0мм & x_3 < 90мм) & (x_4 > 5 ºC & x_4 < 21 ºC) & (x_5 > 18 ºC & x_5 < 32 ºC) & (x_6 > 1 & x_6 < 13) & (x_7 > 5 & x_7 < 9) & (x_8 > 3см & x_8 < 12см). (5.2.13)

Соответствие значений входных ЛП для *восьмой* модели показано в таблице 7.

Математической обработкой результатов опроса по матрице планирования для *восьмой* модели получена следующая зависимость:

$$Y_8=0.41793+0.03133x_1+0.02797x_2+0.04125x_3+0.0175x_4+0.03695x_5+0.0203x_6+0.02934x_7+0.01453x_8-0.0142x_1x_3+0.0073x_2x_3-0.00746x_2x_5+0.00934x_3x_4+0.00828x_1x_2x_4. \quad (5.2.14)$$

Характеристики надежности и качества полученной математической модели (5.2.14) подтверждают ее практическую целесообразность и имеют следующий вид:

σ=0.021; $\sigma^2_{ост}$ = 0.00048; $\sigma^2_{факт}$ = 0.14; $F_{факт}$ = 289.49; $F_{табл}$ ≈ 1.76; $d(A)$ = 0.072, где σ – стандартное отклонение, $\sigma_{ост}$ – остаточная дисперсия, $\sigma_{факт}$ - факторная дисперсия, $F_{факт}$– фактическая величина F-отношения (критерий Фишера), $F_{табл}$ – F-теоретическое (рассчитано по таблице значений F при уровне вероятности P = 0.05 и количестве степеней свободы (m-1)/(n-m) = (14-1)/(256-14), при этом m - количество параметров в уравнении, учитывая свободный член, n - количество наблюдений), $d(A)$ - коэффициент нечеткости эксперта.

Т а б л и ц а 7. **Соответствие значений входных ЛП для 8-й модели оценивания АКУ**

X_1			X_2		
Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале	Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале
Низкая ВВПП	(4, 2, 14)	-1	Низкий ПВО	(36, 26, 18.5)	-1
Средняя ВВПП	(18, 14, 14)	0	Средний ПВО	(54.5, 18.5, 18.5)	0
Высокая ВВПП	(32, 18, 0)	1	Высокий ПВО	(73, 18.5, 24)	1
X_3			X_4		
Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале	Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале
Низкий ПО	(25, 25, 32.5)	-1	Низкая ТППП	(5, 0, 3.5)	-1
Средний ПО	(57.5, 32.5, 32.5)	0	Средняя ТППП	(8.5, 3.5, 3.5)	0
Высокий ПО	(90, 32.5 ,0)	1	Высокая ТППП	(12, 3.5, 8)	1
X_5			X_6		
Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале	Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале
Низкий ПТВ	(18, 0, 5)	-1	Плодородн. ВП	(1, 0, 3)	1
Средний ПТВ	(23, 5, 5)	0	Средний ВП	(4, 3, 3)	0
Высокий ПТВ	(28, 5, 4)	1	Неплодород. ВП	(7, 3, 6)	-1
X_7			X_8		
Смысл	Значение	Значение моды в неч. шкале	Смысл	Значение	Значение моды в неч. шкале
Суглин. РП	(5, 0, 1)	1	Малая ГЗС	(4, 1, 1.5)	1
Тяжелые-сугл. РП	(6, 1, 1)	0	Средняя ГЗС	(5.5, 1.5, 1.5)	0
Тяжелые РП	(7, 1, 2)	-1	Высокая ГЗС	(7, 1.5, 5)	-1

Ограничения входных факторных пространств (X1,…X8) для *девятой* модели:

(x_1 > 2% & x_1 < 32%) & (x_2 > 10% & x_2 < 97%) & (x_3 > 90мм & x_3 < 170мм) & (x_4 > 0 ºC & x_4 < 5 ºC) & (x_5 > 0 ºC & x_5 < 18 ºC) & (x_6 > 1 & x_6 < 13) & (x_7 > 1 & x_7 < 5) & (x_8 > 3см & x_8 < 12см). (5.2.15)

Соответствие значений входных ЛП для *девятой* модели показано в таблице 8.

Математической обработкой результатов опроса по матрице планирования для *девятой* модели получена следующая зависимость:

$$Y_9=0.4739-0.0137x_1+0.0387x_2+0.0238x_3+0.0394x_4+0.05325x_5+0.0199x_6+0.038x_7+0.0159x_8+0.0302x_1x_2+0.00697x_1x_3+0.0088x_1x_4+0.0082x_3x_4+0.0083x_3x_5-0.0181x_1x_2x_3-0.0082x_1x_2x_5-0.0095x_1x_3x_5-0.01x_1x_4x_5. \quad (5.2.16)$$

Характеристики надежности и качества полученной математической модели (5.2.16) подтверждают ее практическую целесообразность и имеют следующий вид:

σ=0.025; $\sigma^2_{ост}$ = 0.00069; $\sigma^2_{факт}$ = 0.158; $F_{факт}$ = 228.61; $F_{табл}$ ≈ 1.66; $d(A) =$ 0.072, где σ – стандартное отклонение, $\sigma_{ост}$ – остаточная дисперсия, $\sigma_{факт}$ - факторная дисперсия, $F_{факт}$– фактическая величина *F*-отношения (критерий Фишера), $F_{табл}$ – *F*-теоретическое (рассчитано по таблице значений *F* при уровне вероятности *P* = 0.05 и количестве степеней свободы (m-1)/(n-m) = (18-1)/(256-18), при этом m - количество параметров в уравнении, учитывая свободный член, n - количество наблюдений) $d(A)$ - коэффициент нечеткости эксперта.

Т а б л и ц а 8. **Соответствие значений входных ЛП для 9-й модели оценивания АКУ**

X_1			X_2		
Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале	Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале
Низкая ВВПП	(4, 2, 14)	1	Низкий ПВО	(36, 26, 18.5)	-1
Средняя ВВПП	(18, 14, 14)	0	Средний ПВО	(54.5, 18.5, 18.5)	0
Высокая ВВПП	(32, 18, 0)	-1	Высокий ПВО	(73, 18.5, 24)	1
X_3			X_4		
Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале	Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале
Низкий ПО	(90, 0, 30)	1	Низкая ТППП	(2, 2, 1.5)	-1
Средний ПО	(120, 30, 30)	0	Средняя ТППП	(3.5, 1.5, 1.5)	0
Высокий ПО	(150, 30 ,20)	-1	Высокая ТППП	(5, 1.5, 0)	1
X_5			X_6		
Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале	Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале
Низкий ПТВ	(2, 2, 8)	-1	Плодородн. ВП	(1, 0, 3)	1
Средний ПТВ	(10, 8, 8)	0	Средний ВП	(4, 3, 3)	0
Высокий ПТВ	(18, 8, 0)	1	Неплодород. ВП	(7, 3, 6)	-1
X_7			X_8		
Смысл	Значение	Значение моды в неч. шкале	Смысл	Значение	Значение моды в неч. шкале
Легкие РП	(3, 2, 2)	-1	Малая ГЗС	(4, 1, 1.5)	1
Лег-сугл. РП	(4, 1, 1)	0	Средняя ГЗС	(5.5, 1.5, 1.5)	0
Суглин. РП	(5, 1, 0)	1	Высокая ГЗС	(7, 1.5, 5)	-1

Ограничения входных факторных пространств (X1,…X8) для *десятой* модели:

(x_1 > 2% & x_1 < 32%) & (x_2 > 10% & x_2 < 97%) & (x_3 > 90мм & x_3 < 170мм) & (x_4 > 0 ºС & x_4 < 5 ºС) & (x_5 > 0 ºС & x_5 < 18 ºС) & (x_6 > 1 & x_6 < 13) & (x_7 > 5 & x_7 < 9) & (x_8 > 3см & x_8 < 12см). (5.2.17)

Соответствие значений входных ЛП для *десятой* модели показано в таблице 9.

Математической обработкой результатов опроса по матрице планирования для *десятой* модели получена следующая зависимость:

$$Y_{10}=0.47036-0.0129x_1+0.03516x_2+0.02977x_3+0.039x_4+0.0535x_5+0.0202x_6+0.0415x_7+0.01825x_8+0.0309x_1x_2+0.00816x_1x_4+0.0089x_3x_4+0.0082x_3x_5-0.0186x_1x_2x_3-0.0078x_1x_2x_5-0.0099x_1x_3x_5-0.0102x_1x_4x_5. \quad (5.2.18)$$

Характеристики надежности и качества полученной математической модели (5.2.18) подтверждают ее практическую целесообразность и имеют следующий вид:

σ=0.026; $\sigma^2_{ост}$ = 0.00072; $\sigma^2_{факт}$ = 0.1746; $F_{факт}$ = 242; $F_{табл}$ ≈ 1.65; $d(A)$ = 0.072, где σ – стандартное отклонение, $\sigma_{ост}$ – остаточная дисперсия, $\sigma_{факт}$ - факторная дисперсия, $F_{факт}$– фактическая величина *F*-отношения (критерий Фишера), $F_{табл}$ – *F*-теоретическое (рассчитано по таблице значений *F* при уровне вероятности *P* = 0.05 и количестве степеней свободы (m-1)/(n-m) = (17-1)/(256-17), при этом m - количество параметров в уравнении, учитывая свободный член, n - количество наблюдений), $d(A)$ - коэффициент нечеткости эксперта.

Т а б л и ц а 9. **Соответствие значений входных ЛП для 10-й модели оценивания АКУ**

X_1			X_2		
Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале	Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале
Низкая ВВПП	(4, 2, 14)	1	Низкий ПВО	(36, 26, 18.5)	-1
Средняя ВВПП	(18, 14, 14)	0	Средний ПВО	(54.5, 18.5, 18.5)	0
Высокая ВВПП	(32, 18, 0)	-1	Высокий ПВО	(73, 18.5, 24)	1
X_3			X_4		
Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале	Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале
Низкий ПО	(90, 0, 30)	1	Низкая ТППП	(2, 2, 1.5)	-1
Средний ПО	(120, 30, 30)	0	Средняя ТППП	(3.5, 1.5, 1.5)	0
Высокий ПО	(150, 30 ,20)	-1	Высокая ТППП	(5, 1.5, 0)	1
X_5			X_6		
Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале	Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале
Низкий ПТВ	(2, 2, 8)	-1	Плодородн. ВП	(1, 0, 3)	1
Средний ПТВ	(10, 8, 8)	0	Средний ВП	(4, 3, 3)	0
Высокий ПТВ	(18, 8, 0)	1	Неплодород. ВП	(7, 3, 6)	-1
X_7			X_8		
Смысл	Значение	Значение моды в неч. шкале	Смысл	Значение	Значение моды в неч. шкале
Суглин. РП	(5, 0, 1)	1	Малая ГЗС	(4, 1, 1.5)	1
Тяжелые-сугл. РП	(6, 1, 1)	0	Средняя ГЗС	(5.5, 1.5, 1.5)	0
Тяжелые РП	(7, 1, 2)	-1	Высокая ГЗС	(7, 1.5, 5)	-1

Ограничения входных факторных пространств (X1,…X8) для *одиннадцатой* модели:

(x_1 > 2% & x_1 < 32%) & (x_2 > 10% & x_2 < 97%) & (x_3 > 90мм & x_3 < 170мм) & (x_4 > 0 ºC & x_4 < 5 ºC) & (x_5 > 18 ºC & x_5 < 32 ºC) & (x_6 > 1 & x_6 < 13) & (x_7 > 1 & x_7 < 5) & (x_8 > 3см & x_8 < 12см). (5.2.19)

Соответствие значений входных ЛП для *одиннадцатой* модели показано в таблице 10.

Математической обработкой результатов опроса по матрице планирования для *одиннадцатой* модели получена следующая зависимость:

$$Y_{11}=0.52633-0.0161x_1+0.04623x_2+0.0273x_3+0.03093x_4+0.0535x_5+0.0218x_6+0.03774x_7+0.01444x_8+0.025x_1x_2+0.0094x_2x_5-0.02295x_1x_2x_3. \quad (5.2.20)$$

Характеристики надежности и качества полученной математической модели (5.2.20) подтверждают ее практическую целесообразность и имеют следующий вид:

σ=0.0219; $\sigma^2_{ост}$ = 0.0005; $\sigma^2_{факт}$ = 0.1733; $F_{факт}$ = 344.8; $F_{табл}$ ≈ 1.84; $d(A)$ = 0.072, где σ – стандартное отклонение, $\sigma_{ост}$ – остаточная дисперсия, $\sigma_{факт}$ - факторная дисперсия, $F_{факт}$– фактическая величина F-отношения (критерий Фишера), $F_{табл}$ – F-теоретическое (рассчитано по таблице значений F при уровне вероятности P = 0.05 и количестве степеней свободы (m-1)/(n-m) = (12-1)/(256-12), при этом m - количество параметров в уравнении, учитывая свободный член, n - количество наблюдений), $d(A)$ - коэффициент нечеткости эксперта.

Т а б л и ц а 10. **Соответствие значений входных ЛП для 11-й модели оценивания АКУ**

X_1			X_2		
Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале	Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале
Низкая ВВПП	(4, 2, 14)	1	Низкий ПВО	(36, 26, 18.5)	-1
Средняя ВВПП	(18, 14, 14)	0	Средний ПВО	(54.5, 18.5, 18.5)	0
Высокая ВВПП	(32, 18, 0)	-1	Высокий ПВО	(73, 18.5, 24)	1
X_3			X_4		
Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале	Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале
Низкий ПО	(90, 0, 30)	1	Низкая ТППП	(2, 2, 1.5)	-1
Средний ПО	(120, 30, 30)	0	Средняя ТППП	(3.5, 1.5, 1.5)	0
Высокий ПО	(150, 30 ,20)	-1	Высокая ТППП	(5, 1.5, 0)	1
X_5			X_6		
Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале	Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале
Низкий ПТВ	(18, 0, 5)	-1	Плодородн. ВП	(1, 0, 3)	1
Средний ПТВ	(23, 5, 5)	0	Средний ВП	(4, 3, 3)	0
Высокий ПТВ	(28, 5, 4)	1	Неплодород. ВП	(7, 3, 6)	-1
X_7			X_8		
Смысл	Значение	Значение моды в неч. шкале	Смысл	Значение	Значение моды в неч. шкале
Легкие РП	(3, 2, 2)	-1	Малая ГЗС	(4, 1, 1.5)	1
Лег-сугл. РП	(4, 1, 1)	0	Средняя ГЗС	(5.5, 1.5, 1.5)	0
Суглин. РП	(5, 1, 0)	1	Высокая ГЗС	(7, 1.5, 5)	-1

Ограничения входных факторных пространств (X1,…X8) для *двенадцатой* модели:

(x_1 > 2% & x_1 < 32%) & (x_2 > 10% & x_2 < 97%) & (x_3 > 90мм & x_3 < 170мм) & (x_4 > 0 ºС & x_4 < 5 ºС) & (x_5 > 18 ºС & x_5 < 32 ºС) & (x_6 > 1 & x_6 < 13) & (x_7 > 5 & x_7 < 9) & (x_8 > 3см & x_8 < 12см). (5.2.21)

Соответствие значений входных ЛП для *двенадцатой* модели показано в таблице 11.

Математической обработкой результатов опроса по матрице планирования для *двенадцатой* модели получена следующая зависимость:

$$Y_{12}=0.5222-0.017x_1+0.0434x_2+0.0313x_3+0.0315x_4+0.0048x_5+0.0244x_6+0.04143x_7+0.0166x_8+0.0259x_1x_2-0.0096x_1x_3+0.00885x_2x_5-0.02283x_1x_2x_3. \quad (5.2.22)$$

Характеристики надежности и качества полученной математической модели (5.2.22) подтверждают ее практическую целесообразность и имеют следующий вид:

σ=0.0192; $\sigma^2_{ост}$ = 0.00039; $\sigma^2_{факт}$ = 0.1732; $F_{факт}$ = 446.8; $F_{табл}$ ≈ 1.79; $d(A)$ = 0.072, где σ – стандартное отклонение, $\sigma_{ост}$ – остаточная дисперсия, $\sigma_{факт}$ - факторная дисперсия, $F_{факт}$– фактическая величина F-отношения (критерий Фишера), $F_{табл}$ – F-теоретическое (рассчитано по таблице значений F при уровне вероятности P = 0.05 и количестве степеней свободы (m-1)/(n-m) = (13-1)/(256-13), при этом m - количество параметров в уравнении, учитывая свободный член, n - количество наблюдений), $d(A)$ - коэффициент нечеткости эксперта.

Т а б л и ц а 11. **Соответствие значений входных ЛП для 12-й модели оценивания АКУ**

X_1			X_2		
Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале	Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале
Низкая ВВПП	(4, 2, 14)	1	Низкий ПВО	(36, 26, 18.5)	-1
Средняя ВВПП	(18, 14, 14)	0	Средний ПВО	(54.5, 18.5, 18.5)	0
Высокая ВВПП	(32, 18, 0)	-1	Высокий ПВО	(73, 18.5, 24)	1
X_3			X_4		
Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале	Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале
Низкий ПО	(90, 0, 30)	1	Низкая ТППП	(2, 2, 1.5)	-1
Средний ПО	(120, 30, 30)	0	Средняя ТППП	(3.5, 1.5, 1.5)	0
Высокий ПО	(150, 30 ,20)	-1	Высокая ТППП	(5, 1.5, 0)	1
X_5			X_6		
Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале	Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале
Низкий ПТВ	(18, 0, 5)	-1	Плодородн. ВП	(1, 0, 3)	1
Средний ПТВ	(23, 5, 5)	0	Средний ВП	(4, 3, 3)	0
Высокий ПТВ	(28, 5, 4)	1	Неплодород. ВП	(7, 3, 6)	-1
X_7			X_8		
Смысл	Значение	Значение моды в неч. шкале	Смысл	Значение	Значение моды в неч. шкале
Суглин. РП	(5, 0, 1)	1	Малая ГЗС	(4, 1, 1.5)	1
Тяжелые-сугл. РП	(6, 1, 1)	0	Средняя ГЗС	(5.5, 1.5, 1.5)	0
Тяжелые РП	(7, 1, 2)	-1	Высокая ГЗС	(7, 1.5, 5)	-1

Ограничения входных факторных пространств (X1,…X8) для *тринадцатой* модели:

(x_1 > 2% & x_1 < 32%) & (x_2 > 10% & x_2 < 97%) & (x_3 > 90мм & x_3 < 170мм) & (x_4 > 5 ºС & x_4 < 21ºС) & (x_5 > 0 ºС & x_5 < 18 ºС) & (x_6 > 1 & x_6 < 13) & (x_7 > 1 & x_7 < 5) & (x_8 > 3см & x_8 < 12см). (5.2.23)

Соответствие значений входных ЛП для *тринадцатой* модели показано в таблице 12.

Математической обработкой результатов опроса по матрице планирования для *тринадцатой* модели получена следующая зависимость:

$$Y_{13}=0.5126-0.00844x_1+0.0373x_2+0.0364x_3+0.0048x_4-0.03273x_5+0.0266x_6+0.0378x_7+0.0138x_8+0.0312x_1x_2+0.00753x_1x_4+0.0071x_1x_5-0.0216x_1x_2x_3. \quad (5.2.24)$$

Характеристики надежности и качества полученной математической модели (5.2.24) подтверждают ее практическую целесообразность и имеют следующий вид:

σ=0.024; $\sigma^2_{ост}$ = 0.00061; $\sigma^2_{факт}$ = 0.1655; $F_{факт}$ = 271.16; $F_{табл}$ ≈ 1.79; $d(A)$ = 0.072, где σ – стандартное отклонение, $\sigma_{ост}$ – остаточная дисперсия, $\sigma_{факт}$ - факторная дисперсия, $F_{факт}$– фактическая величина F-отношения (критерий Фишера), $F_{табл}$ – F-теоретическое (рассчитано по таблице значений F при уровне вероятности P = 0.05 и количестве степеней свободы (m-1)/(n-m) = (13-1)/(256-13), при этом m - количество параметров в уравнении, учитывая свободный член, n - количество наблюдений), $d(A)$ - коэффициент нечеткости эксперта.

Т а б л и ц а 12. **Соответствие значений входных ЛП для 13-й модели оценивания АКУ**

X_1			X_2		
Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале	Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале
Низкая ВВПП	(4, 2, 14)	1	Низкий ПВО	(36, 26, 18.5)	-1
Средняя ВВПП	(18, 14, 14)	0	Средний ПВО	(54.5, 18.5, 18.5)	0
Высокая ВВПП	(32, 18, 0)	-1	Высокий ПВО	(73, 18.5, 24)	1
X_3			X_4		
Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале	Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале
Низкий ПО	(90, 0, 30)	1	Низкая ТППП	(5, 0, 3.5)	1
Средний ПО	(120, 30, 30)	0	Средняя ТППП	(8.5, 3.5, 3.5)	0
Высокий ПО	(150, 30 ,20)	-1	Высокая ТППП	(12, 3.5, 8)	-1
X_5			X_6		
Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале	Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале
Низкий ПТВ	(2, 2, 8)	1	Плодородн. ВП	(1, 0, 3)	1
Средний ПТВ	(10, 8, 8)	0	Средний ВП	(4, 3, 3)	0
Высокий ПТВ	(18, 8, 0)	-1	Неплодород. ВП	(7, 3, 6)	-1
X_7			X_8		
Смысл	Значение	Значение моды в неч. шкале	Смысл	Значение	Значение моды в неч. шкале
Легкие РП	(3, 2, 2)	-1	Малая ГЗС	(4, 1, 1.5)	1
Лег-сугл. РП	(4, 1, 1)	0	Средняя ГЗС	(5.5, 1.5, 1.5)	0
Суглин. РП	(5, 1, 0)	1	Высокая ГЗС	(7, 1.5, 5)	-1

Ограничения входных факторных пространств (X1,…X8) для *четырнадцатой* модели:

(x_1 > 2% & x_1 < 32%) & (x_2 > 10% & x_2 < 97%) & (x_3 > 90мм & x_3 < 170мм) & (x_4 > 5 ºС & x_4 < 21ºС) & (x_5 > 0 ºС & x_5 < 18 ºС) & (x_6 > 1 & x_6 < 13) & (x_7 > 5 & x_7 < 9) & (x_8 > 3см & x_8 < 12см). (5.2.25)

Соответствие значений входных ЛП для *четырнадцатой* модели показано в таблице 13.

Математической обработкой результатов опроса по матрице планирования для *четырнадцатой* модели получена следующая зависимость:

$$Y_{14}=0.5087-0.00727x_1+0.0369x_2+0.0367x_3-0.0383x_5+0.0241x_6+0.0417x_7+0.0157x_8+0.03125x_1x_2+0.0088x_1x_5-0.0043x_4x_5-0.0199x_1x_2x_3. \quad (5.2.26)$$

Характеристики надежности и качества полученной математической модели (5.2.26) подтверждают ее практическую целесообразность и имеют следующий вид:

σ=0.01427; $\sigma^2_{ост}$ = 0.00021; $\sigma^2_{факт}$ = 0.1923; $F_{факт}$ = 899.7; $F_{табл}$ ≈ 1.84; $d(A) = 0.072$, где σ – стандартное отклонение, $\sigma_{ост}$ – остаточная дисперсия, $\sigma_{факт}$ - факторная дисперсия, $F_{факт}$– фактическая величина *F*-отношения (критерий Фишера), $F_{табл}$ – *F*-теоретическое (рассчитано по таблице значений *F* при уровне вероятности *P* = 0.05 и количестве степеней свободы (m-1)/(n-m) = (12-1)/(256-12), при этом m - количество параметров в уравнении, учитывая свободный член, n - количество наблюдений), $d(A)$ - коэффициент нечеткости эксперта.

Т а б л и ц а 13. **Соответствие значений входных ЛП для 14-й модели оценивания АКУ**

X_1			X_2		
Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале	Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале
Низкая ВВПП	(4, 2, 14)	1	Низкий ПВО	(36, 26, 18.5)	-1
Средняя ВВПП	(18, 14, 14)	0	Средний ПВО	(54.5, 18.5, 18.5)	0
Высокая ВВПП	(32, 18, 0)	-1	Высокий ПВО	(73, 18.5, 24)	1
X_3			X_4		
Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале	Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале
Низкий ПО	(90, 0, 30)	1	Низкая ТППП	(5, 0, 3.5)	1
Средний ПО	(120, 30, 30)	0	Средняя ТППП	(8.5, 3.5, 3.5)	0
Высокий ПО	(150, 30 ,20)	-1	Высокая ТППП	(12, 3.5, 8)	-1
X_5			X_6		
Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале	Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале
Низкий ПТВ	(2, 2, 8)	1	Плодородн. ВП	(1, 0, 3)	1
Средний ПТВ	(10, 8, 8)	0	Средний ВП	(4, 3, 3)	0
Высокий ПТВ	(18, 8, 0)	-1	Неплодород. ВП	(7, 3, 6)	-1
X_7			X_8		
Смысл	Значение	Значение моды в неч. шкале	Смысл	Значение	Значение моды в неч. шкале
Суглин. РП	(5, 0, 1)	1	Малая ГЗС	(4, 1, 1.5)	1
Тяжелые-сугл. РП	(6, 1, 1)	0	Средняя ГЗС	(5.5, 1.5, 1.5)	0
Тяжелые РП	(7, 1, 2)	-1	Высокая ГЗС	(7, 1.5, 5)	-1

Ограничения входных факторных пространств (X1,…X8) для *пятнадцатой* модели:

(x_1 > 2% & x_1 < 32%) & (x_2 > 10% & x_2 < 97%) & (x_3 > 90мм & x_3 < 170мм) & (x_4 > 5 ºС & x_4 < 21ºС) & (x_5 > 18 ºС & x_5 < 32 ºС) & (x_6 > 1 & x_6 < 13) & (x_7 > 1 & x_7 < 5) & (x_8 > 3см & x_8 < 12см). (5.2.27)

Соответствие значений входных ЛП для *пятнадцатой* модели показано в таблице 14.

Математической обработкой результатов опроса по матрице планирования для *пятнадцатой* модели получена следующая зависимость:

$$Y_{15} = 0.54254 - 0.02133x_1 + 0.04746x_2 + 0.031875x_3 + 0.006953x_4 + 0.0028x_5 + 0.0261x_6 + 0.037x_7 + 0.0133x_8 + 0.0292x_1x_2 + 0.0055x_1x_4 + 0.0059x_1x_5 - 0.01047x_2x_5 + 0.00457x_3x_5 - 0.02324x_1x_2x_3. \quad (5.2.28)$$

Характеристики надежности и качества полученной математической модели (5.2.28) подтверждают ее практическую целесообразность и имеют следующий вид:

σ=0.0064; $\sigma^2_{ост}$ = 0.0000437; $\sigma^2_{факт}$ = 0.1389; $F_{факт}$ = 3179; $F_{табл}$ ≈ 1.695; $d(A) = 0.072$, где σ – стандартное отклонение, $\sigma_{ост}$ – остаточная дисперсия, $\sigma_{факт}$ - факторная дисперсия, $F_{факт}$– фактическая величина F-отношения (критерий Фишера), $F_{табл}$ – F-теоретическое (рассчитано по таблице значений F при уровне вероятности P = 0.05 и количестве степеней свободы (m-1)/(n-m) = (15-1)/(256-15), при этом m - количество параметров в уравнении, учитывая свободный член, n - количество наблюдений), $d(A)$ - коэффициент нечеткости эксперта.

Т а б л и ц а 14. **Соответствие значений входных ЛП для 15-й модели оценивания АКУ**

X_1			X_2		
Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале	Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале
Низкая ВВПП	(4, 2, 14)	1	Низкий ПВО	(36, 26, 18.5)	-1
Средняя ВВПП	(18, 14, 14)	0	Средний ПВО	(54.5, 18.5, 18.5)	0
Высокая ВВПП	(32, 18, 0)	-1	Высокий ПВО	(73, 18.5, 24)	1
X_3			X_4		
Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале	Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале
Низкий ПО	(90, 0, 30)	1	Низкая ТППП	(5, 0, 3.5)	1
Средний ПО	(120, 30, 30)	0	Средняя ТППП	(8.5, 3.5, 3.5)	0
Высокий ПО	(150, 30 ,20)	-1	Высокая ТППП	(12, 3.5, 8)	-1
X_5			X_6		
Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале	Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале
Низкий ПТВ	(18, 0, 5)	1	Плодородн. ВП	(1, 0, 3)	1
Средний ПТВ	(23, 5, 5)	0	Средний ВП	(4, 3, 3)	0
Высокий ПТВ	(28, 5, 4)	-1	Неплодород. ВП	(7, 3, 6)	-1
X_7			X_8		
Смысл	Значение	Значение моды в неч. шкале	Смысл	Значение	Значение моды в неч. шкале
Легкие РП	(3, 2, 2)	-1	Малая ГЗС	(4, 1, 1.5)	1
Лег-сугл. РП	(4, 1, 1)	0	Средняя ГЗС	(5.5, 1.5, 1.5)	0
Суглин. РП	(5, 1, 0)	1	Высокая ГЗС	(7, 1.5, 5)	-1

Ограничения входных факторных пространств (X1,…X8) для *шестнадцатой* модели:

(x_1 > 2% & x_1 < 32%) & (x_2 > 10% & x_2 < 97%) & (x_3 > 90мм & x_3 < 170мм) & (x_4 > 5 ºС & x_4 < 21ºС) & (x_5 > 18 ºС & x_5 < 32 ºС) & (x_6 > 1 & x_6 < 13) & (x_7 > 5 & x_7 < 9) & (x_8 > 3см & x_8 < 12см). (5.2.29)

Соответствие значений входных ЛП для *шестнадцатой* модели показано в таблице 15.

Математической обработкой результатов опроса по матрице планирования для *шестнадцатой* модели получена следующая зависимость:

$$Y_{16} = 0.54238 - 0.02133x_1 + 0.0477x_2 + 0.03395x_3 + 0.0079x_4 + 0.00465x_5 + 0.0251x_6 + 0.03715x_7 + 0.01547x_8 + 0.0283x_1x_2 - 0.0104x_2x_5 - 0.00453x_1x_3 + 0.0042x_1x_4 + 0.00547x_1x_5 + 0.0067x_3x_5 - 0.0225x_1x_2x_3. \quad (5.2.30)$$

Характеристики надежности и качества полученной математической модели (5.2.30) подтверждают ее практическую целесообразность и имеют следующий вид:

σ=0.00862; $\sigma^2_{ост}$ = 0.000079; $\sigma^2_{факт}$ = 0.1322; $F_{факт}$ = 1667; $F_{табл}$ ≈ 1.68; $d(A) = 0.072$, где σ – стандартное отклонение, $\sigma_{ост}$ – остаточная дисперсия, $\sigma_{факт}$ - факторная дисперсия, $F_{факт}$– фактическая величина F-отношения (критерий Фишера), $F_{табл}$ – F-теоретическое (рассчитано по таблице значений F при уровне вероятности P = 0.05 и количестве степеней свободы (m-1)/(n-m) = (16-1)/(256-16), при этом m - количество параметров в уравнении, учитывая свободный член, n - количество наблюдений), $d(A)$ - коэффициент нечеткости эксперта.

Т а б л и ц а 15. **Соответствие значений входных ЛП для 16-й модели оценивания АКУ**

X_1			X_2		
Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале	Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале
Низкая ВВПП	(4, 2, 14)	1	Низкий ПВО	(36, 26, 18.5)	-1
Средняя ВВПП	(18, 14, 14)	0	Средний ПВО	(54.5, 18.5, 18.5)	0
Высокая ВВПП	(32, 18, 0)	-1	Высокий ПВО	(73, 18.5, 24)	1
X_3			X_4		
Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале	Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале
Низкий ПО	(90, 0, 30)	1	Низкая ТППП	(5, 0, 3.5)	1
Средний ПО	(120, 30, 30)	0	Средняя ТППП	(8.5, 3.5, 3.5)	0
Высокий ПО	(150, 30 ,20)	-1	Высокая ТППП	(12, 3.5, 8)	-1
X_5			X_6		
Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале	Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале
Низкий ПТВ	(18, 0, 5)	1	Плодородн. ВП	(1, 0, 3)	1
Средний ПТВ	(23, 5, 5)	0	Средний ВП	(4, 3, 3)	0
Высокий ПТВ	(28, 5, 4)	-1	Неплодород. ВП	(7, 3, 6)	-1
X_7			X_8		
Смысл	Значение	Значение моды в неч. шкале	Смысл	Значение	Значение моды в неч. шкале
Суглин. РП	(5, 0, 1)	1	Малая ГЗС	(4, 1, 1.5)	1
Тяжелые-сугл. РП	(6, 1, 1)	0	Средняя ГЗС	(5.5, 1.5, 1.5)	0
Тяжелые РП	(7, 1, 2)	-1	Высокая ГЗС	(7, 1.5, 5)	-1

Ограничения входных факторных пространств (X1,…X8) для *семнадцатой* модели:

(x_1 > 32% & x_1 < 45%) & (x_2 > 10% & x_2 < 97%) & (x_3 > 0мм & x_3 < 90мм) & (x_4 > 0 ºC & x_4 < 5ºC) & (x_5 > 0 ºC & x_5 < 18 ºC) & (x_6 > 1 & x_6 < 13) & (x_7 > 1 & x_7 < 5) & (x_8 > 3см & x_8 < 12см). (5.2.31)

Соответствие значений входных ЛП для *семнадцатой* модели показано в таблице 16.

Математической обработкой результатов опроса по матрице планирования для *семнадцатой* модели получена следующая зависимость:

$$Y_{17} = 0.4449 + 0.0708x_1 + 0.04315x_2 + 0.0528x_3 + 0.0374x_4 + 0.0713x_5 + 0.0237x_6 + 0.03954x_7 + 0.0128x_8 - 0.0146x_2x_3 - 0.0079x_3x_4x_5. \quad (5.2.32)$$

Характеристики надежности и качества полученной математической модели (5.2.32) подтверждают ее практическую целесообразность и имеют следующий вид:

σ=0.01746; $\sigma^2_{ост}$ = 0.00032; $\sigma^2_{факт}$ = 0.479; $F_{факт}$ = 1503; $F_{табл}$ ≈ 1.855; $d(A) = 0.072$, где σ – стандартное отклонение, $\sigma_{ост}$ – остаточная дисперсия, $\sigma_{факт}$ - факторная дисперсия, $F_{факт}$– фактическая величина F-отношения (критерий Фишера), $F_{табл}$ – F-теоретическое (рассчитано по таблице значений F при уровне вероятности P = 0.05 и количестве степеней свободы (m-1)/(n-m) = (11-1)/(256-11), при этом m - количество параметров в уравнении, учитывая свободный член, n - количество наблюдений), $d(A)$ - коэффициент нечеткости эксперта.

Т а б л и ц а 16. **Соответствие значений входных ЛП для 17-й модели оценивания АКУ**

X_1			X_2		
Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале	Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале
Низкая ВВПП	(32, 0, 13)	1	Низкий ПВО	(36, 26, 18.5)	1
Средняя ВВПП	(34, 2, 2)	0	Средний ПВО	(54.5, 18.5, 18.5)	0
Высокая ВВПП	(36, 2, 9)	-1	Высокий ПВО	(73, 18.5, 24)	-1
X_3			X_4		
Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале	Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале
Низкий ПО	(25, 25, 32.5)	1	Низкая ТППП	(2, 2, 1.5)	-1
Средний ПО	(57.5, 32.5, 32.5)	0	Средняя ТППП	(3.5, 1.5, 1.5)	0
Высокий ПО	(90, 32.5 ,0)	-1	Высокая ТППП	(5, 1.5, 0)	1
X_5			X_6		
Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале	Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале
Низкий ПТВ	(2, 2, 8)	-1	Плодородн. ВП	(1, 0, 3)	1
Средний ПТВ	(10, 8, 8)	0	Средний ВП	(4, 3, 3)	0
Высокий ПТВ	(18, 8, 0)	1	Неплодород. ВП	(7, 3, 6)	-1
X_7			X_8		
Смысл	Значение	Значение моды в неч. шкале	Смысл	Значение	Значение моды в неч. шкале
Легкие РП	(3, 2, 2)	-1	Малая ГЗС	(4, 1, 1.5)	1
Лег-сугл. РП	(4, 1, 1)	0	Средняя ГЗС	(5.5, 1.5, 1.5)	0
Суглин. РП	(5, 1, 0)	1	Высокая ГЗС	(7, 1.5, 5)	-1

Ограничения входных факторных пространств (X1,…X8) для *восемнадцатой* модели:

(x_1 > 32% & x_1 < 45%) & (x_2 > 10% & x_2 < 97%) & (x_3 > 0мм & x_3 < 90мм) & (x_4 > 0 ºC & x_4 < 5ºC) & (x_5 > 0 ºC & x_5 < 18 ºC) & (x_6 > 1 & x_6 < 13) & (x_7 > 5 & x_7 < 9) & (x_8 > 3см & x_8 < 12см). (5.2.33)

Соответствие значений входных ЛП для *восемнадцатой* модели показано в таблице 17.

Математической обработкой результатов опроса по матрице планирования для *восемнадцатой* модели получена следующая зависимость:

$$Y_{18} = 0.45415 + 0.0704x_1 + 0.0423x_2 + 0.0514x_3 + 0.037x_4 + 0.0701x_5 + 0.0243x_6 + 0.0302x_7 + 0.0158x_8 - 0.014x_2x_3. \quad (5.2.34)$$

Характеристики надежности и качества полученной математической модели (5.2.34) подтверждают ее практическую целесообразность и имеют следующий вид:

σ=0.019; $\sigma^2_{ост}$ = 0.000375; $\sigma^2_{факт}$ = 0.5012; $F_{факт}$ = 1336.8; $F_{табл}$ ≈ 1.91; $d(A) = 0.072$, где σ – стандартное отклонение, $\sigma_{ост}$ – остаточная дисперсия, $\sigma_{факт}$ - факторная дисперсия, $F_{факт}$– фактическая величина F-отношения (критерий Фишера), $F_{табл}$ – F-теоретическое (рассчитано по таблице значений F при уровне вероятности P = 0.05 и количестве степеней свободы (m-1)/(n-m) = (10-1)/(256-10), при этом m - количество параметров в уравнении, учитывая свободный член, n - количество наблюдений), $d(A)$ - коэффициент нечеткости эксперта.

Т а б л и ц а 17. **Соответствие значений входных ЛП для 18-й модели оценивания АКУ**

X_1			X_2		
Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале	Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале
Низкая ВВПП	(32, 0, 13)	1	Низкий ПВО	(36, 26, 18.5)	1
Средняя ВВПП	(34, 2, 2)	0	Средний ПВО	(54.5, 18.5, 18.5)	0
Высокая ВВПП	(36, 2, 9)	-1	Высокий ПВО	(73, 18.5, 24)	-1
X_3			X_4		
Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале	Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале
Низкий ПО	(25, 25, 32.5)	1	Низкая ТППП	(2, 2, 1.5)	-1
Средний ПО	(57.5, 32.5, 32.5)	0	Средняя ТППП	(3.5, 1.5, 1.5)	0
Высокий ПО	(90, 32.5 ,0)	-1	Высокая ТППП	(5, 1.5, 0)	1
X_5			X_6		
Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале	Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале
Низкий ПТВ	(2, 2, 8)	-1	Плодородн. ВП	(1, 0, 3)	1
Средний ПТВ	(10, 8, 8)	0	Средний ВП	(4, 3, 3)	0
Высокий ПТВ	(18, 8, 0)	1	Неплодород. ВП	(7, 3, 6)	-1
X_7			X_8		
Смысл	Значение	Значение моды в неч. шкале	Смысл	Значение	Значение моды в неч. шкале
Суглин. РП	(5, 0, 1)	1	Малая ГЗС	(4, 1, 1.5)	1
Тяжелые-сугл. РП	(6, 1, 1)	0	Средняя ГЗС	(5.5, 1.5, 1.5)	0
Тяжелые РП	(7, 1, 2)	-1	Высокая ГЗС	(7, 1.5, 5)	-1

Ограничения входных факторных пространств (X1,…X8) для *девятнадцатой* модели:

(x_1 > 32% & x_1 < 45%) & (x_2 > 10% & x_2 < 97%) & (x_3 > 0мм & x_3 < 90мм) & (x_4 > 0 ºC & x_4 < 5ºC) & (x_5 > 18 ºC & x_5 < 32 ºC) & (x_6 > 1 & x_6 < 13) & (x_7 > 1 & x_7 < 5) & (x_8 > 3см & x_8 < 12см). (5.2.35)

Соответствие значений входных ЛП для *девятнадцатой* модели показано в таблице 18.

Математической обработкой результатов опроса по матрице планирования для *девятнадцатой* модели получена следующая зависимость:

$$Y_{19} = 0.52497+0.0539x_1+0.0322x_2+0.0474x_3+0.032x_4+0.01886x_5+0.0257x_6+0.03827x_7+0.0131x_8-0.0069x_1x_2+0.0053x_1x_4-0.01187x_2x_3+0.0056x_1x_2x_3-0.00784x_1x_2x_4-0.0086x_1x_3x_4. \quad (5.2.36)$$

Характеристики надежности и качества полученной математической модели (5.2.36) подтверждают ее практическую целесообразность и имеют следующий вид:

σ=0.0127; $\sigma^2_{ост}$ = 0.00017; $\sigma^2_{факт}$ = 0.1874; $F_{факт}$ = 1096; $F_{табл}$ ≈ 1.695; $d(A) = 0.072$, где σ – стандартное отклонение, $\sigma_{ост}$ – остаточная дисперсия, $\sigma_{факт}$ - факторная дисперсия, $F_{факт}$– фактическая величина F-отношения (критерий Фишера), $F_{табл}$ – F-теоретическое (рассчитано по таблице значений F при уровне вероятности P = 0.05 и количестве степеней свободы (m-1)/(n-m) = (15-1)/(256-15), при этом m - количество параметров в уравнении, учитывая свободный член, n - количество наблюдений), $d(A)$ - коэффициент нечеткости эксперта.

Т а б л и ц а 18. **Соответствие значений входных ЛП для 19-й модели оценивания АКУ**

X_1			X_2		
Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале	Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале
Низкая ВВПП	(32, 0, 13)	1	Низкий ПВО	(36, 26, 18.5)	1
Средняя ВВПП	(34, 2, 2)	0	Средний ПВО	(54.5, 18.5, 18.5)	0
Высокая ВВПП	(36, 2, 9)	-1	Высокий ПВО	(73, 18.5, 24)	-1
X_3			X_4		
Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале	Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале
Низкий ПО	(25, 25, 32.5)	1	Низкая ТППП	(2, 2, 1.5)	-1
Средний ПО	(57.5, 32.5, 32.5)	0	Средняя ТППП	(3.5, 1.5, 1.5)	0
Высокий ПО	(90, 32.5 ,0)	-1	Высокая ТППП	(5, 1.5, 0)	1
X_5			X_6		
Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале	Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале
Низкий ПТВ	(18, 0, 5)	-1	Плодородн. ВП	(1, 0, 3)	1
Средний ПТВ	(23, 5, 5)	0	Средний ВП	(4, 3, 3)	0
Высокий ПТВ	(28, 5, 4)	1	Неплодород. ВП	(7, 3, 6)	-1
X_7			X_8		
Смысл	Значение	Значение моды в неч. шкале	Смысл	Значение	Значение моды в неч. шкале
Легкие РП	(3, 2, 2)	-1	Малая ГЗС	(4, 1, 1.5)	1
Лег-сугл. РП	(4, 1, 1)	0	Средняя ГЗС	(5.5, 1.5, 1.5)	0
Суглин. РП	(5, 1, 0)	1	Высокая ГЗС	(7, 1.5, 5)	-1

Ограничения входных факторных пространств (X1,…X8) для *двадцатой* модели:

(x_1 > 32% & x_1 < 45%) & (x_2 > 10% & x_2 < 97%) & (x_3 > 0мм & x_3 < 90мм) & (x_4 > 0 ºC & x_4 < 5ºC) & (x_5 > 18 ºC & x_5 < 32 ºC) & (x_6 > 1 & x_6 < 13) & (x_7 > 5 & x_7 < 9) & (x_8 > 3см & x_8 < 12см). (5.2.37)

Соответствие значений входных ЛП для *двадцатой* модели показано в таблице 19.

Математической обработкой результатов опроса по матрице планирования для *двадцатой* модели получена следующая зависимость:

$$Y_{20} = 0.5289 + 0.05545x_1 + 0.0319x_2 + 0.0467x_3 + 0.0318x_4 + 0.0186x_5 + 0.0258x_6 + 0.03436x_7 + 0.0159x_8 - 0.00826x_1x_2 + 0.00486x_1x_4 - 0.0122x_2x_3 + 0.0046x_1x_2x_3 - 0.0081x_1x_2x_4 - 0.00877x_1x_3x_4. \quad (5.2.38)$$

Характеристики надежности и качества полученной математической модели (5.2.38) подтверждают ее практическую целесообразность и имеют следующий вид:

σ=0.00637; $\sigma^2_{ост}$ = 0.0000431; $\sigma^2_{факт}$ = 0.1853; $F_{факт}$ = 4296; $F_{табл} \approx$ 1.695; $d(A) = 0.072$, где σ – стандартное отклонение, $\sigma_{ост}$ – остаточная дисперсия, $\sigma_{факт}$ - факторная дисперсия, $F_{факт}$– фактическая величина *F*-отношения (критерий Фишера), $F_{табл}$ – *F*-теоретическое (рассчитано по таблице значений *F* при уровне вероятности *P* = 0.05 и количестве степеней свободы (m-1)/(n-m) = (15-1)/(256-15), при этом m - количество параметров в уравнении, учитывая свободный член, n - количество наблюдений), $d(A)$ - коэффициент нечеткости эксперта.

Т а б л и ц а 19. **Соответствие значений входных ЛП для 20-й модели оценивания АКУ**

X_1			X_2		
Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале	Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале
Низкая ВВПП	(32, 0, 13)	1	Низкий ПВО	(36, 26, 18.5)	1
Средняя ВВПП	(34, 2, 2)	0	Средний ПВО	(54.5, 18.5, 18.5)	0
Высокая ВВПП	(36, 2, 9)	-1	Высокий ПВО	(73, 18.5, 24)	-1
X_3			X_4		
Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале	Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале
Низкий ПО	(25, 25, 32.5)	1	Низкая ТППП	(2, 2, 1.5)	-1
Средний ПО	(57.5, 32.5, 32.5)	0	Средняя ТППП	(3.5, 1.5, 1.5)	0
Высокий ПО	(90, 32.5 ,0)	-1	Высокая ТППП	(5, 1.5, 0)	1
X_5			X_6		
Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале	Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале
Низкий ПТВ	(18, 0, 5)	-1	Плодородн. ВП	(1, 0, 3)	1
Средний ПТВ	(23, 5, 5)	0	Средний ВП	(4, 3, 3)	0
Высокий ПТВ	(28, 5, 4)	1	Неплодород. ВП	(7, 3, 6)	-1
X_7			X_8		
Смысл	Значение	Значение моды в неч. шкале	Смысл	Значение	Значение моды в неч. шкале
Суглин. РП	(5, 0, 1)	1	Малая ГЗС	(4, 1, 1.5)	1
Тяжелые-сугл. РП	(6, 1, 1)	0	Средняя ГЗС	(5.5, 1.5, 1.5)	0
Тяжелые РП	(7, 1, 2)	-1	Высокая ГЗС	(7, 1.5, 5)	-1

Ограничения входных факторных пространств (X1,…X8) для *двадцать первой* модели:

(x_1 > 32% & x_1 < 45%) & (x_2 > 10% & x_2 < 97%) & (x_3 > 0мм & x_3 < 90мм) & (x_4 > 5 ºC & x_4 < 21ºC) & (x_5 > 0 ºC & x_5 < 18 ºC) & (x_6 > 1 & x_6 < 13) & (x_7 > 1 & x_7 < 5) & (x_8 > 3см & x_8 < 12см). (5.2.39)

Соответствие значений входных ЛП для *двадцать первой* модели показано в таблице 20.

Математической обработкой результатов опроса по матрице планирования для *двадцать первой* модели получена следующая зависимость:

$$Y_{21} = 0.4783+0.0929x_1+0.0377x_2+0.0446x_3+0.0122x_4+0.0392x_5+0.02385x_6+0.04057x_7+ 0.0125x_8 -0.0092x_1x_2-0.0084x_1x_3-0.02115x_1x_5-0.01494x_2x_3-0.00846x_4x_5- 0.00705x_1x_4x_5-0.00744x_2x_3x_5. \quad (5.2.40)$$

Характеристики надежности и качества полученной математической модели (5.2.40) подтверждают ее практическую целесообразность и имеют следующий вид:

σ=0.0175; $\sigma^2_{ост}$ = 0.000327; $\sigma^2_{факт}$ = 0.2918; $F_{факт}$ = 893.5; $F_{табл}$ ≈ 1.68; $d(A) = 0.072$, где σ – стандартное отклонение, $\sigma_{ост}$ – остаточная дисперсия, $\sigma_{факт}$ - факторная дисперсия, $F_{факт}$– фактическая величина F-отношения (критерий Фишера), $F_{табл}$ – F-теоретическое (рассчитано по таблице значений F при уровне вероятности P = 0.05 и количестве степеней свободы (m-1)/(n-m) = (16-1)/(256-16), при этом m - количество параметров в уравнении, учитывая свободный член, n - количество наблюдений), $d(A)$ - коэффициент нечеткости эксперта.

Т а б л и ц а 20. **Соответствие значений входных ЛП для 21-й модели оценивания АКУ**

X_1			X_2		
Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале	Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале
Низкая ВВПП	(32, 0, 13)	1	Низкий ПВО	(36, 26, 18.5)	1
Средняя ВВПП	(34, 2, 2)	0	Средний ПВО	(54.5, 18.5, 18.5)	0
Высокая ВВПП	(36, 2, 9)	-1	Высокий ПВО	(73, 18.5, 24)	-1
X_3			X_4		
Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале	Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале
Низкий ПО	(25, 25, 32.5)	1	Низкая ТППП	(5, 0, 3.5)	1
Средний ПО	(57.5, 32.5, 32.5)	0	Средняя ТППП	(8.5, 3.5, 3.5)	0
Высокий ПО	(90, 32.5 ,0)	-1	Высокая ТППП	(12, 3.5, 8)	-1
X_5			X_6		
Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале	Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале
Низкий ПТВ	(2, 2, 8)	1	Плодородн. ВП	(1, 0, 3)	1
Средний ПТВ	(10, 8, 8)	0	Средний ВП	(4, 3, 3)	0
Высокий ПТВ	(18, 8, 0)	-1	Неплодород. ВП	(7, 3, 6)	-1
X_7			X_8		
Смысл	Значение	Значение моды в неч. шкале	Смысл	Значение	Значение моды в неч. шкале
Легкие РП	(3, 2, 2)	-1	Малая ГЗС	(4, 1, 1.5)	1
Лег-сугл. РП	(4, 1, 1)	0	Средняя ГЗС	(5.5, 1.5, 1.5)	0
Суглин. РП	(5, 1, 0)	1	Высокая ГЗС	(7, 1.5, 5)	-1

Ограничения входных факторных пространств (X1,…X8) для *двадцать второй* модели:

(x_1 > 32% & x_1 < 45%) & (x_2 > 10% & x_2 < 97%) & (x_3 > 0мм & x_3 < 90мм) & (x_4 > 5 ºC & x_4 < 21ºC) & (x_5 > 0 ºC & x_5 < 18 ºC) & (x_6 > 1 & x_6 < 13) & (x_7 > 5 & x_7 < 9) & (x_8 > 3см & x_8 < 12см). (5.2.41)

Соответствие значений входных ЛП для *двадцать второй* модели показано в таблице 21.

Математической обработкой результатов опроса по матрице планирования для *двадцать второй* модели получена следующая зависимость:

$$Y_{22} = 0.4715+0.10377x_1+0.03693x_2+0.0442x_3+0.01256x_4+0.0381x_5+0.02354x_6+0.04736x_7+ 0.01553x_8 -0.0084x_1x_2-0.0076x_1x_3-0.0202x_1x_5-0.00795x_1x_7 -0.0145x_2x_3-0.0088x_4x_5- 0.0073x_1x_4x_5-0.00783x_2x_3x_5. \quad (5.2.42)$$

Характеристики надежности и качества полученной математической модели (5.2.42) подтверждают ее практическую целесообразность и имеют следующий вид:

σ=0.0181; $\sigma^2_{ост}$ = 0.00035; $\sigma^2_{факт}$ = 0.3158; $F_{факт}$ = 898.4; $F_{табл}$ ≈ 1.65; $d(A) = 0.072$, где σ – стандартное отклонение, $\sigma_{ост}$ – остаточная дисперсия, $\sigma_{факт}$ - факторная дисперсия, $F_{факт}$– фактическая величина F-отношения (критерий Фишера), $F_{табл}$ – F-теоретическое (рассчитано по таблице значений F при уровне вероятности P = 0.05 и количестве степеней свободы (m-1)/(n-m) = (17-1)/(256-17), при этом m - количество параметров в уравнении, учитывая свободный член, n - количество наблюдений), $d(A)$ - коэффициент нечеткости эксперта.

Т а б л и ц а 21. **Соответствие значений входных ЛП для 22-й модели оценивания АКУ**

X_1			X_2		
Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале	Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале
Низкая ВВПП	(32, 0, 13)	1	Низкий ПВО	(36, 26, 18.5)	1
Средняя ВВПП	(34, 2, 2)	0	Средний ПВО	(54.5, 18.5, 18.5)	0
Высокая ВВПП	(36, 2, 9)	-1	Высокий ПВО	(73, 18.5, 24)	-1
X_3			X_4		
Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале	Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале
Низкий ПО	(25, 25, 32.5)	1	Низкая ТППП	(5, 0, 3.5)	1
Средний ПО	(57.5, 32.5, 32.5)	0	Средняя ТППП	(8.5, 3.5, 3.5)	0
Высокий ПО	(90, 32.5 ,0)	-1	Высокая ТППП	(12, 3.5, 8)	-1
X_5			X_6		
Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале	Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале
Низкий ПТВ	(2, 2, 8)	1	Плодородн. ВП	(1, 0, 3)	1
Средний ПТВ	(10, 8, 8)	0	Средний ВП	(4, 3, 3)	0
Высокий ПТВ	(18, 8, 0)	-1	Неплодород. ВП	(7, 3, 6)	-1
X_7			X_8		
Смысл	Значение	Значение моды в неч. шкале	Смысл	Значение	Значение моды в неч. шкале
Суглин. РП	(5, 0, 1)	1	Малая ГЗС	(4, 1, 1.5)	1
Тяжелые-сугл. РП	(6, 1, 1)	0	Средняя ГЗС	(5.5, 1.5, 1.5)	0
Тяжелые РП	(7, 1, 2)	-1	Высокая ГЗС	(7, 1.5, 5)	-1

Ограничения входных факторных пространств (X1,…X8) для *двадцать третьей* модели:

(x_1 > 32% & x_1 < 45%) & (x_2 > 10% & x_2 < 97%) & (x_3 > 0мм & x_3 < 90мм) & (x_4 > 5 ºC & x_4 < 21ºC) & (x_5 > 18 ºC & x_5 < 32 ºC) & (x_6 > 1 & x_6 < 13) & (x_7 > 1 & x_7 < 5) & (x_8 > 3см & x_8 < 12см). (5.2.43)

Соответствие значений входных ЛП для *двадцать третьей* модели показано в таблице 22.

Математической обработкой результатов опроса по матрице планирования для *двадцать третьей* модели получена следующая зависимость:

$$Y_{23} = 0.4383+0.10426x_1+0.0206x_2+0.0436x_3+0.024x_4+0.0243x_6+0.0389x_7+0.012x_8-0.0091x_1x_2-0.0128x_1x_3+0.0092x_1x_4+0.00984x_1x_5-0.006x_2x_3-0.0051x_2x_4+0.017x_2x_5-0.0033x_4x_5+0.0066x_1x_2x_3+0.00438x_1x_3x_5+0.0051x_2x_4x_5. \quad (5.2.44)$$

Характеристики надежности и качества полученной математической модели (5.2.44) подтверждают ее практическую целесообразность и имеют следующий вид:

σ=0.01017; $\sigma^2_{ост}$ = 0.00011; $\sigma^2_{факт}$ = 0.2403; $F_{факт}$ = 2149; $F_{табл}$ ≈ 1.61; $d(A) = 0.072$, где σ – стандартное отклонение, $\sigma_{ост}$ – остаточная дисперсия, $\sigma_{факт}$ - факторная дисперсия, $F_{факт}$– фактическая величина F-отношения (критерий Фишера), $F_{табл}$ – F-теоретическое (рассчитано по таблице значений F при уровне вероятности P = 0.05 и количестве степеней свободы (m-1)/(n-m) = (19-1)/(256-19), при этом m - количество параметров в уравнении, учитывая свободный член, n - количество наблюдений), $d(A)$ - коэффициент нечеткости эксперта.

Т а б л и ц а 22. **Соответствие значений входных ЛП для 23-й модели оценивания АКУ**

X_1			X_2		
Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале	Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале
Низкая ВВПП	(32, 0, 13)	1	Низкий ПВО	(36, 26, 18.5)	1
Средняя ВВПП	(34, 2, 2)	0	Средний ПВО	(54.5, 18.5, 18.5)	0
Высокая ВВПП	(36, 2, 9)	-1	Высокий ПВО	(73, 18.5, 24)	-1
X_3			X_4		
Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале	Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале
Низкий ПО	(25, 25, 32.5)	1	Низкая ТППП	(5, 0, 3.5)	1
Средний ПО	(57.5, 32.5, 32.5)	0	Средняя ТППП	(8.5, 3.5, 3.5)	0
Высокий ПО	(90, 32.5 ,0)	-1	Высокая ТППП	(12, 3.5, 8)	-1
X_5			X_6		
Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале	Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале
Низкий ПТВ	(18, 0, 5)	1	Плодородн. ВП	(1, 0, 3)	1
Средний ПТВ	(23, 5, 5)	0	Средний ВП	(4, 3, 3)	0
Высокий ПТВ	(28, 5, 4)	-1	Неплодород. ВП	(7, 3, 6)	-1
X_7			X_8		
Смысл	Значение	Значение моды в неч. шкале	Смысл	Значение	Значение моды в неч. шкале
Легкие РП	(3, 2, 2)	-1	Малая ГЗС	(4, 1, 1.5)	1
Лег-сугл. РП	(4, 1, 1)	0	Средняя ГЗС	(5.5, 1.5, 1.5)	0
Суглин. РП	(5, 1, 0)	1	Высокая ГЗС	(7, 1.5, 5)	-1

Ограничения входных факторных пространств (X1,…X8) для *двадцать четвертой* модели:

(x_1 > 32% & x_1 < 45%) & (x_2 > 10% & x_2 < 97%) & (x_3 > 0мм & x_3 < 90мм) & (x_4 > 5 ºC & x_4 < 21ºC) & (x_5 > 18 ºC & x_5 < 32 ºC) & (x_6 > 1 & x_6 < 13) & (x_7 > 5 & x_7 < 9) & (x_8 > 3см & x_8 < 12см). (5.2.45)

Соответствие значений входных ЛП для *двадцать четвертой* модели показано в таблице 23.

Математической обработкой результатов опроса по матрице планирования для *двадцать четвертой* модели получена следующая зависимость:

$$Y_{24} = 0.4371+0.10565x_1+0.0211x_2+0.0434x_3+0.0233x_4+0.0241x_6+0.0399x_7+0.0137x_8-0.01x_1x_2-0.0122x_1x_3+0.00914x_1x_4+0.0112x_1x_5-0.00687x_2x_3-0.0046x_2x_4+0.01783x_2x_5-0.0036x_4x_5+0.0067x_1x_2x_3+0.0056x_1x_3x_5+0.00543x_2x_4x_5. \quad (5.2.46)$$

Характеристики надежности и качества полученной математической модели (5.2.46) подтверждают ее практическую целесообразность и имеют следующий вид:

σ=0.004583; $\sigma^2_{ост}$ = 0.000023; $\sigma^2_{факт}$ = 0.2469; $F_{факт}$ = 10877; $F_{табл} \approx 1.61$; $d(A) = 0.072$, где σ – стандартное отклонение, $\sigma_{ост}$ – остаточная дисперсия, $\sigma_{факт}$ - факторная дисперсия, $F_{факт}$– фактическая величина F-отношения (критерий Фишера), $F_{табл}$ – F-теоретическое (рассчитано по таблице значений F при уровне вероятности P = 0.05 и количестве степеней свободы (m-1)/(n-m) = (19-1)/(256-19), при этом m - количество параметров в уравнении, учитывая свободный член, n - количество наблюдений), $d(A)$ - коэффициент нечеткости эксперта.

Т а б л и ц а 23. **Соответствие значений входных ЛП для 24-й модели оценивания АКУ**

X_1			X_2		
Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале	Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале
Низкая ВВПП	(32, 0, 13)	1	Низкий ПВО	(36, 26, 18.5)	1
Средняя ВВПП	(34, 2, 2)	0	Средний ПВО	(54.5, 18.5, 18.5)	0
Высокая ВВПП	(36, 2, 9)	-1	Высокий ПВО	(73, 18.5, 24)	-1
X_3			X_4		
Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале	Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале
Низкий ПО	(25, 25, 32.5)	1	Низкая ТППП	(5, 0, 3.5)	1
Средний ПО	(57.5, 32.5, 32.5)	0	Средняя ТППП	(8.5, 3.5, 3.5)	0
Высокий ПО	(90, 32.5 ,0)	-1	Высокая ТППП	(12, 3.5, 8)	-1
X_5			X_6		
Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале	Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале
Низкий ПТВ	(18, 0, 5)	1	Плодородн. ВП	(1, 0, 3)	1
Средний ПТВ	(23, 5, 5)	0	Средний ВП	(4, 3, 3)	0
Высокий ПТВ	(28, 5, 4)	-1	Неплодород. ВП	(7, 3, 6)	-1
X_7			X_8		
Смысл	Значение	Значение моды в неч. шкале	Смысл	Значение	Значение моды в неч. шкале
Суглин. РП	(5, 0, 1)	1	Малая ГЗС	(4, 1, 1.5)	1
Тяжелые-сугл. РП	(6, 1, 1)	0	Средняя ГЗС	(5.5, 1.5, 1.5)	0
Тяжелые РП	(7, 1, 2)	-1	Высокая ГЗС	(7, 1.5, 5)	-1

Ограничения входных факторных пространств (X1,…X8) для *двадцать пятой* модели:

(x_1 > 32% & x_1 < 45%) & (x_2 > 10% & x_2 < 97%) & (x_3 > 90мм & x_3 < 170мм) & (x_4 > 0 ºC & x_4 < 5ºC) & (x_5 > 0 ºC & x_5 < 18 ºC) & (x_6 > 1 & x_6 < 13) & (x_7 > 1 & x_7 < 5) & (x_8 > 3см & x_8 < 12см). (5.2.47)

Соответствие значений входных ЛП для *двадцать пятой* модели показано в таблице 24.

Математической обработкой результатов опроса по матрице планирования для *двадцать пятой* модели получена следующая зависимость:

$$Y_{25} = 0.3787+0.0891x_1+0.0492x_2+0.01315x_3+0.0276x_4+0.05375x_5+0.02324x_6+0.0366x_7+ 0.01156x_8-0.01875x_1x_2-0.01836x_1x_3+0.00856x_2x_3+0.0097x_3x_4+0.01773x_3x_5+ 0.00684x_4x_5+0.0189x_1x_2x_3. \quad (5.2.48)$$

Характеристики надежности и качества полученной математической модели (5.2.48) подтверждают ее практическую целесообразность и имеют следующий вид:

σ=0.010627; $\sigma^2_{ост}$ = 0.00012; $\sigma^2_{факт}$ = 0.3033; $F_{факт}$ = 2518; $F_{табл}$ ≈ 1.68; $d(A) = 0.072$, где σ – стандартное отклонение, $\sigma_{ост}$ – остаточная дисперсия, $\sigma_{факт}$ - факторная дисперсия, $F_{факт}$– фактическая величина F-отношения (критерий Фишера), $F_{табл}$ – F-теоретическое (рассчитано по таблице значений F при уровне вероятности P = 0.05 и количестве степеней свободы (m-1)/(n-m) = (16-1)/(256-16), при этом m - количество параметров в уравнении, учитывая свободный член, n - количество наблюдений), $d(A)$ - коэффициент нечеткости эксперта.

Т а б л и ц а 24. **Соответствие значений входных ЛП для 25-й модели оценивания АКУ**

X_1			X_2		
Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале	Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале
Низкая ВВПП	(32, 0, 13)	1	Низкий ПВО	(36, 26, 18.5)	1
Средняя ВВПП	(34, 2, 2)	0	Средний ПВО	(54.5, 18.5, 18.5)	0
Высокая ВВПП	(36, 2, 9)	-1	Высокий ПВО	(73, 18.5, 24)	-1
X_3			X_4		
Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале	Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале
Низкий ПО	(90, 0, 30)	1	Низкая ТППП	(2, 2, 1.5)	-1
Средний ПО	(120, 30, 30)	0	Средняя ТППП	(3.5, 1.5, 1.5)	0
Высокий ПО	(150, 30 ,20)	-1	Высокая ТППП	(5, 1.5, 0)	1
X_5			X_6		
Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале	Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале
Низкий ПТВ	(2, 2, 8)	-1	Плодородн. ВП	(1, 0, 3)	1
Средний ПТВ	(10, 8, 8)	0	Средний ВП	(4, 3, 3)	0
Высокий ПТВ	(18, 8, 0)	1	Неплодород. ВП	(7, 3, 6)	-1
X_7			X_8		
Смысл	Значение	Значение моды в неч. шкале	Смысл	Значение	Значение моды в неч. шкале
Легкие РП	(3, 2, 2)	-1	Малая ГЗС	(4, 1, 1.5)	1
Лег-сугл. РП	(4, 1, 1)	0	Средняя ГЗС	(5.5, 1.5, 1.5)	0
Суглин. РП	(5, 1, 0)	1	Высокая ГЗС	(7, 1.5, 5)	-1

Ограничения входных факторных пространств (X1,…X8) для *двадцать шестой* модели:

(x_1 > 32% & x_1 < 45%) & (x_2 > 10% & x_2 < 97%) & (x_3 > 90мм & x_3 < 170мм) & (x_4 > 0 ºC & x_4 < 5ºC) & (x_5 > 0 ºC & x_5 < 18 ºC) & (x_6 > 1 & x_6 < 13) & (x_7 > 5 & x_7 < 9) & (x_8 > 3см & x_8 < 12см). (5.2.49)

Соответствие значений входных ЛП для *двадцать шестой* модели показано в таблице 25.

Математической обработкой результатов опроса по матрице планирования для *двадцать шестой* модели получена следующая зависимость:

$$Y_{26} = 0.37232+0.089x_1+0.05045x_2+0.01443x_3+0.0269x_4+0.05287x_5+0.0232x_6+0.04295x_7+ 0.01338x_8-0.01717x_1x_2-0.0171x_1x_3+0.009x_2x_3+0.0095x_3x_4+0.01764x_3x_5+ 0.0068x_4x_5+0.019x_1x_2x_3. \quad (5.2.50)$$

Характеристики надежности и качества полученной математической модели (5.2.50) подтверждают ее практическую целесообразность и имеют следующий вид:

σ=0.00458; $\sigma^2_{ост}$ = 0.000022; $\sigma^2_{факт}$ = 0.3112; $F_{факт}$ = 13889.5; $F_{табл}$ ≈ 1.68; $d(A) = 0.072$, где σ – стандартное отклонение, $\sigma_{ост}$ – остаточная дисперсия, $\sigma_{факт}$ - факторная дисперсия, $F_{факт}$– фактическая величина F-отношения (критерий Фишера), $F_{табл}$ – F-теоретическое (рассчитано по таблице значений F при уровне вероятности P = 0.05 и количестве степеней свободы (m-1)/(n-m) = (16-1)/(256-16), при этом m - количество параметров в уравнении, учитывая свободный член, n - количество наблюдений), $d(A)$ - коэффициент нечеткости эксперта.

Т а б л и ц а 25. **Соответствие значений входных ЛП для 26-й модели оценивания АКУ**

X_1			X_2		
Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале	Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале
Низкая ВВПП	(32, 0, 13)	1	Низкий ПВО	(36, 26, 18.5)	1
Средняя ВВПП	(34, 2, 2)	0	Средний ПВО	(54.5, 18.5, 18.5)	0
Высокая ВВПП	(36, 2, 9)	-1	Высокий ПВО	(73, 18.5, 24)	-1
X_3			X_4		
Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале	Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале
Низкий ПО	(90, 0, 30)	1	Низкая ТППП	(2, 2, 1.5)	-1
Средний ПО	(120, 30, 30)	0	Средняя ТППП	(3.5, 1.5, 1.5)	0
Высокий ПО	(150, 30 ,20)	-1	Высокая ТППП	(5, 1.5, 0)	1
X_5			X_6		
Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале	Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале
Низкий ПТВ	(2, 2, 8)	-1	Плодородн. ВП	(1, 0, 3)	1
Средний ПТВ	(10, 8, 8)	0	Средний ВП	(4, 3, 3)	0
Высокий ПТВ	(18, 8, 0)	1	Неплодород. ВП	(7, 3, 6)	-1
X_7			X_8		
Смысл	Значение	Значение моды в неч. шкале	Смысл	Значение	Значение моды в неч. шкале
Суглин. РП	(5, 0, 1)	1	Малая ГЗС	(4, 1, 1.5)	1
Тяжелые-сугл. РП	(6, 1, 1)	0	Средняя ГЗС	(5.5, 1.5, 1.5)	0
Тяжелые РП	(7, 1, 2)	-1	Высокая ГЗС	(7, 1.5, 5)	-1

Ограничения входных факторных пространств (X1,…X8) для *двадцать седьмой* модели:

(x_1 > 32% & x_1 < 45%) & (x_2 > 10% & x_2 < 97%) & (x_3 > 90мм & x_3 < 170мм) & (x_4 > 0 ºC & x_4 < 5ºC) & (x_5 > 18 ºC & x_5 < 32 ºC) & (x_6 > 1 & x_6 < 13) & (x_7 > 1 & x_7 < 5) & (x_8 > 3см & x_8 < 12см). (5.2.51)

Соответствие значений входных ЛП для *двадцать седьмой* модели показано в таблице 26.

Математической обработкой результатов опроса по матрице планирования для *двадцать седьмой* модели получена следующая зависимость:

$$Y_{27} = 0.4519+0.07925x_1+0.038x_2+0.02575x_3+0.02574x_4+0.0218x_5+0.0245x_6+0.0365x_7+ 0.0122x_8-0.027x_1x_2-0.0253x_1x_3+0.00627x_1x_4+0.006x_2x_3-0.0042x_2x_5+ 0.0064x_3x_4+0.01453x_1x_2x_3-0.00464\, x_1x_2x_4+0.0076x_1x_3x_4+0.00448\, x_2x_3x_5. \quad (5.2.52)$$

Характеристики надежности и качества полученной математической модели (5.2.52) подтверждают ее практическую целесообразность и имеют следующий вид:

σ=0.00836; $\sigma^2_{ост}$ = 0.000075; $\sigma^2_{факт}$ = 0.229; $F_{факт}$ = 3070; $F_{табл}$ ≈ 1.68; $d(A) = 0.072$, где σ – стандартное отклонение, $\sigma_{ост}$ – остаточная дисперсия, $\sigma_{факт}$ - факторная дисперсия, $F_{факт}$– фактическая величина F-отношения (критерий Фишера), $F_{табл}$ – F-теоретическое (рассчитано по таблице значений F при уровне вероятности P = 0.05 и количестве степеней свободы (m-1)/(n-m) = (16-1)/(256-16), при этом m - количество параметров в уравнении, учитывая свободный член, n - количество наблюдений), $d(A)$ - коэффициент нечеткости эксперта.

Т а б л и ц а 26. **Соответствие значений входных ЛП для 27-й модели оценивания АКУ**

X_1			X_2		
Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале	Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале
Низкая ВВПП	(32, 0, 13)	1	Низкий ПВО	(36, 26, 18.5)	1
Средняя ВВПП	(34, 2, 2)	0	Средний ПВО	(54.5, 18.5, 18.5)	0
Высокая ВВПП	(36, 2, 9)	-1	Высокий ПВО	(73, 18.5, 24)	-1
X_3			X_4		
Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале	Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале
Низкий ПО	(90, 0, 30)	1	Низкая ТППП	(2, 2, 1.5)	-1
Средний ПО	(120, 30, 30)	0	Средняя ТППП	(3.5, 1.5, 1.5)	0
Высокий ПО	(150, 30 ,20)	-1	Высокая ТППП	(5, 1.5, 0)	1
X_5			X_6		
Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале	Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале
Низкий ПТВ	(18, 0, 5)	-1	Плодородн. ВП	(1, 0, 3)	1
Средний ПТВ	(23, 5, 5)	0	Средний ВП	(4, 3, 3)	0
Высокий ПТВ	(28, 5, 4)	1	Неплодород. ВП	(7, 3, 6)	-1
X_7			X_8		
Смысл	Значение	Значение моды в неч. шкале	Смысл	Значение	Значение моды в неч. шкале
Легкие РП	(3, 2, 2)	-1	Малая ГЗС	(4, 1, 1.5)	1
Лег-сугл. РП	(4, 1, 1)	0	Средняя ГЗС	(5.5, 1.5, 1.5)	0
Суглин. РП	(5, 1, 0)	1	Высокая ГЗС	(7, 1.5, 5)	-1

Ограничения входных факторных пространств (X1,…X8) для *двадцать восьмой* модели:

(x_1 > 32% & x_1 < 45%) & (x_2 > 10% & x_2 < 97%) & (x_3 > 90мм & x_3 < 170мм) & (x_4 > 0 ºС & x_4 < 5ºС) & (x_5 > 18 ºС & x_5 < 32 ºС) & (x_6 > 1 & x_6 < 13) & (x_7 > 5 & x_7 < 9) & (x_8 > 3см & x_8 < 12см). (5.2.53)

Соответствие значений входных ЛП для *двадцать восьмой* модели показано в таблице 27.

Математической обработкой результатов опроса по матрице планирования для *двадцать восьмой* модели получена следующая зависимость:

$$Y_{28} = 0.4471+0.0812x_1+0.0408x_2+0.0302x_3+0.0237x_4+0.0244x_5+0.0243x_6+0.04124x_7+ 0.01474x_8-0.02784x_1x_2-0.0252x_1x_3+0.00593x_1x_4+0.0045x_2x_3-0.0047x_2x_5+ 0.0078x_3x_4+0.01294x_1x_2x_3+0.0094x_1x_3x_4-0.00286x_3x_7-0.0033x_4x_5+0.0023x_4x_7- 0.00347x_5x_7-0.00352x_1x_2x_4+0.00368x_2x_3x_5. \quad (5.2.54)$$

Характеристики надежности и качества полученной математической модели (5.2.54) подтверждают ее практическую целесообразность и имеют следующий вид:

σ=0.0102; $\sigma^2_{ост}$ = 0.000115; $\sigma^2_{факт}$ = 0.1711; $F_{факт}$ = 1485; $F_{табл}$ ≈ 1.55; $d(A) = 0.072$, где σ – стандартное отклонение, $\sigma_{ост}$ – остаточная дисперсия, $\sigma_{факт}$ - факторная дисперсия, $F_{факт}$– фактическая величина F-отношения (критерий Фишера), $F_{табл}$ – F-теоретическое (рассчитано по таблице значений F при уровне вероятности P = 0.05 и количестве степеней свободы (m-1)/(n-m) = (23-1)/(256-23), при этом m - количество параметров в уравнении, учитывая свободный член, n - количество наблюдений), $d(A)$ - коэффициент нечеткости эксперта.

Т а б л и ц а 27. **Соответствие значений входных ЛП для 28-й модели оценивания АКУ**

X_1			X_2		
Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале	Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале
Низкая ВВПП	(32, 0, 13)	1	Низкий ПВО	(36, 26, 18.5)	1
Средняя ВВПП	(34, 2, 2)	0	Средний ПВО	(54.5, 18.5, 18.5)	0
Высокая ВВПП	(36, 2, 9)	-1	Высокий ПВО	(73, 18.5, 24)	-1
X_3			X_4		
Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале	Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале
Низкий ПО	(90, 0, 30)	1	Низкая ТППП	(2, 2, 1.5)	-1
Средний ПО	(120, 30, 30)	0	Средняя ТППП	(3.5, 1.5, 1.5)	0
Высокий ПО	(150, 30 ,20)	-1	Высокая ТППП	(5, 1.5, 0)	1
X_5			X_6		
Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале	Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале
Низкий ПТВ	(18, 0, 5)	-1	Плодородн. ВП	(1, 0, 3)	1
Средний ПТВ	(23, 5, 5)	0	Средний ВП	(4, 3, 3)	0
Высокий ПТВ	(28, 5, 4)	1	Неплодород. ВП	(7, 3, 6)	-1
X_7			X_8		
Смысл	Значение	Значение моды в неч. шкале	Смысл	Значение	Значение моды в неч. шкале
Суглин. РП	(5, 0, 1)	1	Малая ГЗС	(4, 1, 1.5)	1
Тяжелые-сугл. РП	(6, 1, 1)	0	Средняя ГЗС	(5.5, 1.5, 1.5)	0
Тяжелые РП	(7, 1, 2)	-1	Высокая ГЗС	(7, 1.5, 5)	-1

Ограничения входных факторных пространств (X1,…X8) для *двадцать девятой* модели:

(x_1 > 32% & x_1 < 45%) & (x_2 > 10% & x_2 < 97%) & (x_3 > 90мм & x_3 < 170мм) & (x_4 > 5 ºС & x_4 < 21ºС) & (x_5 > 0 ºС & x_5 < 18 ºС) & (x_6 > 1 & x_6 < 13) & (x_7 > 1 & x_7 < 5) & (x_8 > 3см & x_8 < 12см). (5.2.55)

Соответствие значений входных ЛП для *двадцать девятой* модели показано в таблице 28.

Математической обработкой результатов опроса по матрице планирования для *двадцать девятой* модели получена следующая зависимость:

$$Y_{29} = 0.4046+0.0881x_1+0.0488x_2+0.02087x_3+0.0016x_4+0.04862x_5+0.02384x_6+0.0375x_7+ 0.0117x_8-0.01833x_1x_2-0.01456x_1x_3+0.0077x_2x_3+0.0167x_3x_5+0.01206x_4x_5+ 0.0177x_1x_2x_3-0.00386x_1x_3x_4. \quad (5.2.56)$$

Характеристики надежности и качества полученной математической модели (5.2.56) подтверждают ее практическую целесообразность и имеют следующий вид:

σ=0.00626; $\sigma^2_{ост}$ = 0.000042; $\sigma^2_{факт}$ = 0.2802; $F_{факт}$ = 6712; $F_{табл}$ ≈ 1.68; $d(A) = 0.072$, где σ – стандартное отклонение, $\sigma_{ост}$ – остаточная дисперсия, $\sigma_{факт}$ - факторная дисперсия, $F_{факт}$– фактическая величина F-отношения (критерий Фишера), $F_{табл}$ – F-теоретическое (рассчитано по таблице значений F при уровне вероятности P = 0.05 и количестве степеней свободы (m-1)/(n-m) = (16-1)/(256-16), при этом m - количество параметров в уравнении, учитывая свободный член, n - количество наблюдений), $d(A)$ - коэффициент нечеткости эксперта.

Т а б л и ц а 28. **Соответствие значений входных ЛП для 29-й модели оценивания АКУ**

X_1			X_2		
Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале	Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале
Низкая ВВПП	(32, 0, 13)	1	Низкий ПВО	(36, 26, 18.5)	1
Средняя ВВПП	(34, 2, 2)	0	Средний ПВО	(54.5, 18.5, 18.5)	0
Высокая ВВПП	(36, 2, 9)	-1	Высокий ПВО	(73, 18.5, 24)	-1
X_3			X_4		
Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале	Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале
Низкий ПО	(90, 0, 30)	1	Низкая ТППП	(5, 0, 3.5)	1
Средний ПО	(120, 30, 30)	0	Средняя ТППП	(8.5, 3.5, 3.5)	0
Высокий ПО	(150, 30 ,20)	-1	Высокая ТППП	(12, 3.5, 8)	-1
X_5			X_6		
Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале	Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале
Низкий ПТВ	(2, 2, 8)	-1	Плодородн. ВП	(1, 0, 3)	1
Средний ПТВ	(10, 8, 8)	0	Средний ВП	(4, 3, 3)	0
Высокий ПТВ	(18, 8, 0)	1	Неплодород. ВП	(7, 3, 6)	-1
X_7			X_8		
Смысл	Значение	Значение моды в неч. шкале	Смысл	Значение	Значение моды в неч. шкале
Легкие РП	(3, 2, 2)	-1	Малая ГЗС	(4, 1, 1.5)	1
Лег-сугл. РП	(4, 1, 1)	0	Средняя ГЗС	(5.5, 1.5, 1.5)	0
Суглин. РП	(5, 1, 0)	1	Высокая ГЗС	(7, 1.5, 5)	-1

Ограничения входных факторных пространств (X1,…X8) для *тридцатой* модели:

(x_1 > 32% & x_1 < 45%) & (x_2 > 10% & x_2 < 97%) & (x_3 > 90мм & x_3 < 170мм) & (x_4 > 5 ºC & x_4 < 21ºC) & (x_5 > 0 ºC & x_5 < 18 ºC) & (x_6 > 1 & x_6 < 13) & (x_7 > 5 & x_7 < 9) & (x_8 > 3см & x_8 < 12см). (5.2.57)

Соответствие значений входных ЛП для *тридцатой* модели показано в таблице 29.

Математической обработкой результатов опроса по матрице планирования для *тридцатой* модели получена следующая зависимость:

$$Y_{30} = 0.398+0.0885x_1+0.04974x_2+0.02226x_3+0.0022x_4+0.04845x_5+0.02386x_6+0.0441x_7+ 0.01325x_8-0.0171x_1x_2-0.01315x_1x_3+0.00806x_2x_3+0.0166x_3x_5+0.012x_4x_5+ 0.01866x_1x_2x_3-0.00427x_1x_3x_4. \quad (5.2.58)$$

Характеристики надежности и качества полученной математической модели (5.2.58) подтверждают ее практическую целесообразность и имеют следующий вид:

σ=0.00416; $\sigma^2_{ост}$ = 0.0000185; $\sigma^2_{факт}$ = 0.2929; $F_{факт}$ = 15858; $F_{табл}$ ≈ 1.68; $d(A) = 0.072$, где σ – стандартное отклонение, $\sigma_{ост}$ – остаточная дисперсия, $\sigma_{факт}$ - факторная дисперсия, $F_{факт}$– фактическая величина *F*-отношения (критерий Фишера), $F_{табл}$ – *F*-теоретическое (рассчитано по таблице значений *F* при уровне вероятности *P* = 0.05 и количестве степеней свободы (m-1)/(n-m) = (16-1)/(256-16), при этом m - количество параметров в уравнении, учитывая свободный член, n - количество наблюдений), $d(A)$ - коэффициент нечеткости эксперта.

Т а б л и ц а 29. **Соответствие значений входных ЛП для 30-й модели оценивания АКУ**

X_1			X_2		
Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале	Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале
Низкая ВВПП	(32, 0, 13)	1	Низкий ПВО	(36, 26, 18.5)	1
Средняя ВВПП	(34, 2, 2)	0	Средний ПВО	(54.5, 18.5, 18.5)	0
Высокая ВВПП	(36, 2, 9)	-1	Высокий ПВО	(73, 18.5, 24)	-1
X_3			X_4		
Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале	Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале
Низкий ПО	(90, 0, 30)	1	Низкая ТППП	(5, 0, 3.5)	1
Средний ПО	(120, 30, 30)	0	Средняя ТППП	(8.5, 3.5, 3.5)	0
Высокий ПО	(150, 30 ,20)	-1	Высокая ТППП	(12, 3.5, 8)	-1
X_5			X_6		
Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале	Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале
Низкий ПТВ	(2, 2, 8)	-1	Плодородн. ВП	(1, 0, 3)	1
Средний ПТВ	(10, 8, 8)	0	Средний ВП	(4, 3, 3)	0
Высокий ПТВ	(18, 8, 0)	1	Неплодород. ВП	(7, 3, 6)	-1
X_7			X_8		
Смысл	Значение	Значение моды в неч. шкале	Смысл	Значение	Значение моды в неч. шкале
Суглин. РП	(5, 0, 1)	1	Малая ГЗС	(4, 1, 1.5)	1
Тяжелые-сугл. РП	(6, 1, 1)	0	Средняя ГЗС	(5.5, 1.5, 1.5)	0
Тяжелые РП	(7, 1, 2)	-1	Высокая ГЗС	(7, 1.5, 5)	-1

Ограничения входных факторных пространств (X1,…X8) для *тридцать первой* модели:

(x_1 > 32% & x_1 < 45%) & (x_2 > 10% & x_2 < 97%) & (x_3 > 90мм & x_3 < 170мм) & (x_4 > 5 ºC & x_4 < 21ºC) & (x_5 > 18 ºC & x_5 < 32 ºC) & (x_6 > 1 & x_6 < 13) & (x_7 > 1 & x_7 < 5) & (x_8 > 3см & x_8 < 12см). (5.2.59)

Соответствие значений входных ЛП для *тридцать первой* модели показано в таблице 30.

Математической обработкой результатов опроса по матрице планирования для *тридцать первой* модели получена следующая зависимость:

$$Y_{31} = 0.4657+0.08624x_1+0.04304x_2+0.03405x_3+0.01747x_4+0.0125x_5+0.02417x_6+0.0373x_7+ 0.0126x_8-0.0216x_1x_2-0.01407x_1x_3+0.0079x_2x_3-0.00575x_2x_5-0.00356x_3x_5+0.00384x_4x_5+ 0.01874x_1x_2x_3-0.0034x_1x_2x_4-0.00333x_1x_2x_5-0.004x_1x_3x_4. \quad (5.2.60)$$

Характеристики надежности и качества полученной математической модели (5.2.60) подтверждают ее практическую целесообразность и имеют следующий вид:

σ=0.00703; $\sigma^2_{ост}$ = 0.000053; $\sigma^2_{факт}$ = 0.2023; $F_{факт}$ = 3792; $F_{табл}$ ≈ 1.61; $d(A) = 0.072$, где σ – стандартное отклонение, $\sigma_{ост}$ – остаточная дисперсия, $\sigma_{факт}$ - факторная дисперсия, $F_{факт}$– фактическая величина F-отношения (критерий Фишера), $F_{табл}$ – F-теоретическое (рассчитано по таблице значений F при уровне вероятности P = 0.05 и количестве степеней свободы (m-1)/(n-m) = (19-1)/(256-19), при этом m - количество параметров в уравнении, учитывая свободный член, n - количество наблюдений), $d(A)$ - коэффициент нечеткости эксперта.

Т а б л и ц а 30. **Соответствие значений входных ЛП для 31-й модели оценивания АКУ**

X_1			X_2		
Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале	Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале
Низкая ВВПП	(32, 0, 13)	1	Низкий ПВО	(36, 26, 18.5)	1
Средняя ВВПП	(34, 2, 2)	0	Средний ПВО	(54.5, 18.5, 18.5)	0
Высокая ВВПП	(36, 2, 9)	-1	Высокий ПВО	(73, 18.5, 24)	-1
X_3			X_4		
Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале	Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале
Низкий ПО	(90, 0, 30)	1	Низкая ТППП	(5, 0, 3.5)	1
Средний ПО	(120, 30, 30)	0	Средняя ТППП	(8.5, 3.5, 3.5)	0
Высокий ПО	(150, 30 ,20)	-1	Высокая ТППП	(12, 3.5, 8)	-1
X_5			X_6		
Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале	Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале
Низкий ПТВ	(18, 0, 5)	-1	Плодородн. ВП	(1, 0, 3)	1
Средний ПТВ	(23, 5, 5)	0	Средний ВП	(4, 3, 3)	0
Высокий ПТВ	(28, 5, 4)	1	Неплодород. ВП	(7, 3, 6)	-1
X_7			X_8		
Смысл	Значение	Значение моды в неч. шкале	Смысл	Значение	Значение моды в неч. шкале
Легкие РП	(3, 2, 2)	-1	Малая ГЗС	(4, 1, 1.5)	1
Лег-сугл. РП	(4, 1, 1)	0	Средняя ГЗС	(5.5, 1.5, 1.5)	0
Суглин. РП	(5, 1, 0)	1	Высокая ГЗС	(7, 1.5, 5)	-1

Ограничения входных факторных пространств (X1,…X8) для *тридцать второй* модели:

(x_1 > 32% & x_1 < 45%) & (x_2 > 10% & x_2 < 97%) & (x_3 > 90мм & x_3 < 170мм) & (x_4 > 5 ºC & x_4 < 21ºC) & (x_5 > 18 ºC & x_5 < 32 ºC) & (x_6 > 1 & x_6 < 13) & (x_7 > 5 & x_7 < 9) & (x_8 > 3см & x_8 < 12см). (5.2.61)

Соответствие значений входных ЛП для *тридцать второй* модели показано в таблице 31.

Математической обработкой результатов опроса по матрице планирования для *тридцать второй* модели получена следующая зависимость:

$$Y_{32} = 0.458+0.0869x_1+0.04304x_2+0.038x_3+0.01487x_4+0.0151x_5+0.02393x_6+0.04366x_7+ 0.0144x_8-0.02437x_1x_2-0.01315x_1x_3+0.00738x_2x_3-0.00555x_2x_5-0.0035x_3x_7+ 0.0053x_4x_5+0.01614x_1x_2x_3-0.0044x_1x_2x_4-0.00323x_1x_3x_4. \quad (5.2.62)$$

Характеристики надежности и качества полученной математической модели (5.2.62) подтверждают ее практическую целесообразность и имеют следующий вид:

σ=0.00709; $\sigma^2_{ост}$ = 0.000054; $\sigma^2_{факт}$ = 0.2284; $F_{факт}$ = 4226; $F_{табл}$ ≈ 1.66; $d(A) = 0.072$, где σ – стандартное отклонение, $\sigma_{ост}$ – остаточная дисперсия, $\sigma_{факт}$ - факторная дисперсия, $F_{факт}$– фактическая величина F-отношения (критерий Фишера), $F_{табл}$ – F-теоретическое (рассчитано по таблице значений F при уровне вероятности P = 0.05 и количестве степеней свободы (m-1)/(n-m) = (18-1)/(256-18), при этом m - количество параметров в уравнении, учитывая свободный член, n - количество наблюдений), $d(A)$ - коэффициент нечеткости эксперта.

Т а б л и ц а 31. **Соответствие значений входных ЛП для 32-й модели оценивания АКУ**

X_1			X_2		
Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале	Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале
Низкая ВВПП	(32, 0, 13)	1	Низкий ПВО	(36, 26, 18.5)	1
Средняя ВВПП	(34, 2, 2)	0	Средний ПВО	(54.5, 18.5, 18.5)	0
Высокая ВВПП	(36, 2, 9)	-1	Высокий ПВО	(73, 18.5, 24)	-1
X_3			X_4		
Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале	Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале
Низкий ПО	(90, 0, 30)	1	Низкая ТППП	(5, 0, 3.5)	1
Средний ПО	(120, 30, 30)	0	Средняя ТППП	(8.5, 3.5, 3.5)	0
Высокий ПО	(150, 30 ,20)	-1	Высокая ТППП	(12, 3.5, 8)	-1
X_5			X_6		
Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале	Смысл	Значение	Значение моды в нечеткой шкале
Низкий ПТВ	(18, 0, 5)	-1	Плодородн. ВП	(1, 0, 3)	1
Средний ПТВ	(23, 5, 5)	0	Средний ВП	(4, 3, 3)	0
Высокий ПТВ	(28, 5, 4)	1	Неплодород. ВП	(7, 3, 6)	-1
X_7			X_8		
Смысл	Значение	Значение моды в неч. шкале	Смысл	Значение	Значение моды в неч. шкале
Суглин. РП	(5, 0, 1)	1	Малая ГЗС	(4, 1, 1.5)	1
Тяжелые-сугл. РП	(6, 1, 1)	0	Средняя ГЗС	(5.5, 1.5, 1.5)	0
Тяжелые РП	(7, 1, 2)	-1	Высокая ГЗС	(7, 1.5, 5)	-1

Приложение 6. Полный вариант матрицы опроса для первой модели алгоритма оценивания агроклиматических условий для проведения сева.

Экспертами были определены следующие входные факторы, влияющие на оценку агроклиматических условий для проведения сева яровых зерновых культур:

x_1 - весовая влажность почвы перед посевом (ВВПП), %;

x_2 - прогноз вероятности осадков декадный (ПВО), %;

x_3 - прогноз осадков декадный (ПО), мм;

x_4 - температура почвы перед посевом (ТППП), ºС;

x_5 - прогноз температуры воздуха декадный (ПТВ), ºС;

x_6 - вид почвы (ВП), число от 1 до 13, 1(Ч)-чернозем, 2(К)-каштановая, 3(ДК) дерново-карбонатный, 4(СЛ)- серая лесная, 5(БЛ) – бурая лесная, 6(Кр)-краснозем, 7(ДП)-дерново-подзолистая, 8(СП)- сильно подзолистая, 9(Т) – тундровая, 10(Г)-горная, 11(А)-арктическая, 12(Б)-болотная, 13(З)-засоленная;

x_7 - Разновидность почвы (РП), число от 1 до 9, 1(ПР)- песок рыхлый, 2(ПС)-песок связный, 3(С) - супесь, 4(СЛ) - суглинок легкий, 5(СС) – суглинок средний, 6(СТ) – суглинок тяжелый, 7(ГЛ)-глина легкая, 8(ГС)-глина средняя, 9(ГТ)- глина тяжелая;

x_8 - Глубина заделки семян (ГЗС), см.

Комплексная оценка агроклиматических условий для проведения сева (Y) является выходным результирующим показателем, создаваемой модели.

Полный вариант матрицы опроса для первой модели алгоритма оценивания агроклиматических условий для проведения сева приводится в табл. 1.

Т а б л и ц а 1 **Матрица опроса для первой модели оценивания АКУ для проведения сева**

№	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	Y
1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.75
2	1	1	1	1	1	1	1	-1	0.7075
3	1	1	1	1	1	1	-1	1	0.6625
4	1	1	1	1	1	1	-1	-1	0.625
5	1	1	1	1	1	-1	1	1	0.7025
6	1	1	1	1	1	-1	1	-1	0.6675
7	1	1	1	1	1	-1	-1	1	0.62
8	1	1	1	1	1	-1	-1	-1	0.585
9	1	1	1	1	-1	1	1	1	0.59
10	1	1	1	1	-1	1	1	-1	0.56
11	1	1	1	1	-1	1	-1	1	0.51
12	1	1	1	1	-1	1	-1	-1	0.485
13	1	1	1	1	-1	-1	1	1	0.545
14	1	1	1	1	-1	-1	1	-1	0.515
15	1	1	1	1	-1	-1	-1	1	0.45
16	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	0.425
17	1	1	1	-1	1	1	1	1	0.66
18	1	1	1	-1	1	1	1	-1	0.63
19	1	1	1	-1	1	1	-1	1	0.565
20	1	1	1	-1	1	1	-1	-1	0.53
21	1	1	1	-1	1	-1	1	1	0.605
22	1	1	1	-1	1	-1	1	-1	0.575
23	1	1	1	-1	1	-1	-1	1	0.535
24	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	0.5
25	1	1	1	-1	-1	1	1	1	0.49
26	1	1	1	-1	-1	1	1	-1	0.465
27	1	1	1	-1	-1	1	-1	1	0.44
28	1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	0.415
29	1	1	1	-1	-1	-1	1	1	0.455
30	1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	0.43
31	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	0.4
32	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	0.375
33	1	1	-1	1	1	1	1	1	0.65
34	1	1	-1	1	1	1	1	-1	0.62
35	1	1	-1	1	1	1	-1	1	0.57
36	1	1	-1	1	1	1	-1	-1	0.54
37	1	1	-1	1	1	-1	1	1	0.6
38	1	1	-1	1	1	-1	1	-1	0.565
39	1	1	-1	1	1	-1	-1	1	0.55
40	1	1	-1	1	1	-1	-1	-1	0.525
41	1	1	-1	1	-1	1	1	1	0.52
42	1	1	-1	1	-1	1	1	-1	0.49
43	1	1	-1	1	-1	1	-1	1	0.43
44	1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	0.405

Т а б л и ц а 1 **Матрица опроса для первой модели оценивания АКУ для проведения сева (продолжение)**

№	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	Y
45	1	1	-1	1	-1	-1	1	1	0.45
46	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	0.42
47	1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	0.37
48	1	1	-1	1	-1	-1	-1	-1	0.345
49	1	1	-1	-1	1	1	1	1	0.55
50	1	1	-1	-1	1	1	1	-1	0.525
51	1	1	-1	-1	1	1	-1	1	0.47
52	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	0.445
53	1	1	-1	-1	1	-1	1	1	0.49
54	1	1	-1	-1	1	-1	1	-1	0.46
55	1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	0.415
56	1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	0.38
57	1	1	-1	-1	-1	1	1	1	0.45
58	1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	0.425
59	1	1	-1	-1	-1	1	-1	1	0.38
60	1	1	-1	-1	-1	1	-1	-1	0.36
61	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	0.4
62	1	1	-1	-1	-1	-1	1	-1	0.375
63	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	1	0.34
64	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0.32
65	1	-1	1	1	1	1	1	1	0.65
66	1	-1	1	1	1	1	1	-1	0.615
67	1	-1	1	1	1	1	-1	1	0.57
68	1	-1	1	1	1	1	-1	-1	0.545
69	1	-1	1	1	1	-1	1	1	0.61
70	1	-1	1	1	1	-1	1	-1	0.575
71	1	-1	1	1	1	-1	-1	1	0.53
72	1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	0.5
73	1	-1	1	1	-1	1	1	1	0.515
74	1	-1	1	1	-1	1	1	-1	0.48
75	1	-1	1	1	-1	1	-1	1	0.445
76	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	0.42
77	1	-1	1	1	-1	-1	1	1	0.475
78	1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	0.45
79	1	-1	1	1	-1	-1	-1	1	0.41
80	1	-1	1	1	-1	-1	-1	-1	0.39
81	1	-1	1	-1	1	1	1	1	0.53
82	1	-1	1	-1	1	1	1	-1	0.51
83	1	-1	1	-1	1	1	-1	1	0.48
84	1	-1	1	-1	1	1	-1	-1	0.455
85	1	-1	1	-1	1	-1	1	1	0.5
86	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	0.475
87	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	0.43
88	1	-1	1	-1	1	-1	-1	-1	0.41

Т а б л и ц а 1 **Матрица опроса для первой модели оценивания АКУ для проведения сева (продолжение)**

№	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	Y
89	1	-1	1	-1	-1	1	1	1	0.45
90	1	-1	1	-1	-1	1	1	-1	0.425
91	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	0.38
92	1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	0.36
93	1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	0.405
94	1	-1	1	-1	-1	-1	1	-1	0.385
95	1	-1	1	-1	-1	-1	-1	1	0.35
96	1	-1	1	-1	-1	-1	-1	-1	0.33
97	1	-1	-1	1	1	1	1	1	0.58
98	1	-1	-1	1	1	1	1	-1	0.55
99	1	-1	-1	1	1	1	-1	1	0.5
100	1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	0.465
101	1	-1	-1	1	1	-1	1	1	0.52
102	1	-1	-1	1	1	-1	1	-1	0.495
103	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	0.445
104	1	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	0.42
105	1	-1	-1	1	-1	1	1	1	0.42
106	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	0.39
107	1	-1	-1	1	-1	1	-1	1	0.355
108	1	-1	-1	1	-1	1	-1	-1	0.33
109	1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	0.375
110	1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	0.355
111	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	1	0.305
112	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	0.285
113	1	-1	-1	-1	1	1	1	1	0.43
114	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	0.415
115	1	-1	-1	-1	1	1	-1	1	0.36
116	1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	0.34
117	1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	0.385
118	1	-1	-1	-1	1	-1	1	-1	0.365
119	1	-1	-1	-1	1	-1	-1	1	0.31
120	1	-1	-1	-1	1	-1	-1	-1	0.29
121	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	0.34
122	1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	0.32
123	1	-1	-1	-1	-1	1	-1	1	0.28
124	1	-1	-1	-1	-1	1	-1	-1	0.26
125	1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	0.3
126	1	-1	-1	-1	-1	-1	1	-1	0.275
127	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	0.23
128	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0.21
129	-1	1	1	1	1	1	1	1	0.715
130	-1	1	1	1	1	1	1	-1	0.65
131	-1	1	1	1	1	1	-1	1	0.6
132	-1	1	1	1	1	1	-1	-1	0.575

Т а б л и ц а 1 **Матрица опроса для первой модели оценивания АКУ для проведения сева (продолжение)**

№	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	Y
133	-1	1	1	1	1	-1	1	1	0.62
134	-1	1	1	1	1	-1	1	-1	0.59
135	-1	1	1	1	1	-1	-1	1	0.55
136	-1	1	1	1	1	-1	-1	-1	0.52
137	-1	1	1	1	-1	1	1	1	0.64
138	-1	1	1	1	-1	1	1	-1	0.62
139	-1	1	1	1	-1	1	-1	1	0.52
140	-1	1	1	1	-1	1	-1	-1	0.5
141	-1	1	1	1	-1	-1	1	1	0.54
142	-1	1	1	1	-1	-1	1	-1	0.51
143	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1	0.48
144	-1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	0.455
145	-1	1	1	-1	1	1	1	1	0.6025
146	-1	1	1	-1	1	1	1	-1	0.585
147	-1	1	1	-1	1	1	-1	1	0.529
148	-1	1	1	-1	1	1	-1	-1	0.4765
149	-1	1	1	-1	1	-1	1	1	0.673
150	-1	1	1	-1	1	-1	1	-1	0.56
151	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1	0.57
152	-1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	0.52
153	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	0.5
154	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	0.48
155	-1	1	1	-1	-1	1	-1	1	0.43
156	-1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	0.4075
157	-1	1	1	-1	-1	-1	1	1	0.58
158	-1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	0.44
159	-1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	0.42
160	-1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	0.41
161	-1	1	-1	1	1	1	1	1	0.625
162	-1	1	-1	1	1	1	1	-1	0.542
163	-1	1	-1	1	1	1	-1	1	0.49
164	-1	1	-1	1	1	1	-1	-1	0.46
164	-1	1	-1	1	1	-1	1	1	0.52
165	-1	1	-1	1	1	-1	1	-1	0.5
166	-1	1	-1	1	1	-1	-1	1	0.4825
167	-1	1	-1	1	1	-1	-1	-1	0.45
168	-1	1	-1	1	-1	1	1	1	0.52
169	-1	1	-1	1	-1	1	1	-1	0.453
170	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	0.417
171	-1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	0.385
172	-1	1	-1	1	-1	-1	1	1	0.5
173	-1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	0.46
174	-1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	0.405
175	-1	1	-1	1	-1	-1	-1	-1	0.37

Т а б л и ц а 1 **Матрица опроса для первой модели оценивания АКУ для проведения сева (продолжение)**

№	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	Y
176	-1	1	-1	-1	1	1	1	1	0.52
177	-1	1	-1	-1	1	1	1	-1	0.495
178	-1	1	-1	-1	1	1	-1	1	0.47
179	-1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	0.45
180	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	0.5
181	-1	1	-1	-1	1	-1	1	-1	0.48
182	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	0.46
183	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	0.43
184	-1	1	-1	-1	-1	1	1	1	0.4
185	-1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	0.37
186	-1	1	-1	-1	-1	1	-1	1	0.335
187	-1	1	-1	-1	-1	1	-1	-1	0.305
188	-1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	0.38
189	-1	1	-1	-1	-1	-1	1	-1	0.36
190	-1	1	-1	-1	-1	-1	1	-1	0.33
191	-1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0.3
192	-1	-1	1	1	1	1	1	1	0.605
193	-1	-1	1	1	1	1	1	-1	0.575
194	-1	-1	1	1	1	1	-1	1	0.525
195	-1	-1	1	1	1	1	-1	-1	0.49
196	-1	-1	1	1	1	-1	1	1	0.6
197	-1	-1	1	1	1	-1	1	-1	0.57
198	-1	-1	1	1	1	-1	-1	1	0.535
199	-1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	0.505
200	-1	-1	1	1	-1	1	1	1	0.52
201	-1	-1	1	1	-1	1	1	-1	0.49
202	-1	-1	1	1	-1	1	-1	1	0.435
203	-1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	0.405
204	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	0.5
205	-1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	0.47
206	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	1	0.435
207	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	-1	0.405
208	-1	-1	1	-1	1	1	1	1	0.52
209	-1	-1	1	-1	1	1	1	-1	0.49
210	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	0.435
211	-1	-1	1	-1	1	1	-1	-1	0.41
212	-1	-1	1	-1	1	-1	1	1	0.495
213	-1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	0.465
214	-1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	0.43
215	-1	-1	1	-1	1	-1	-1	-1	0.4
216	-1	-1	1	-1	-1	1	1	1	0.36
217	-1	-1	1	-1	-1	1	1	-1	0.33
218	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	0.275
219	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	0.245

Т а б л и ц а 1 **Матрица опроса для первой модели оценивания АКУ для проведения сева (продолжение)**

№	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	Y
220	-1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	0.315
221	-1	-1	1	-1	-1	-1	1	-1	0.285
222	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	1	0.25
223	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	-1	0.22
224	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	0.505
225	-1	-1	-1	1	1	1	1	-1	0.475
226	-1	-1	-1	1	1	1	-1	1	0.44
227	-1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	0.41
228	-1	-1	-1	1	1	-1	1	1	0.49
229	-1	-1	-1	1	1	-1	1	-1	0.465
230	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	0.435
231	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	0.405
232	-1	-1	-1	1	-1	1	1	1	0.385
233	-1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	0.355
234	-1	-1	-1	1	-1	1	-1	1	0.32
235	-1	-1	-1	1	-1	1	-1	-1	0.29
236	-1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	0.38
237	-1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	0.37
238	-1	-1	-1	1	-1	-1	-1	1	0.31
239	-1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	0.285
240	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	0.415
241	-1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	0.385
242	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	1	0.35
243	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	0.32
244	-1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	0.4
245	-1	-1	-1	-1	1	-1	1	-1	0.38
246	-1	-1	-1	-1	1	-1	-1	1	0.33
247	-1	-1	-1	-1	1	-1	-1	-1	0.3
248	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	0.255
249	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	0.225
250	-1	-1	-1	-1	-1	1	-1	1	0.19
251	-1	-1	-1	-1	-1	1	-1	-1	0.16
252	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	0.25
253	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	-1	0.22
254	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	0.185
255	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0.155

Приложение 7. Матрицы опроса ведущих специалистов сельскохозяйственной отрасли для прогнозирования урожайности яровых зерновых культур в тех или иных агрономических условиях.

Экспертами были выделены следующие основные входные факторы:

x_1 – показатель культуры возделывания яровых зерновых культур (КВ), 1 – «*Нормальный*» (хозяйственный), 2 – «*Высокоинтенсивный*», 3 – «*Высокоинтенсивный с элементами точного земледелия*»;

x_2 – оценка агроклиматических условий для проведения сева ЯЗК (АКУ), от 0 до 1;

x_3 – степень кондиционности семенного материала ЯЗК (СКСМ), от 0 до 1;

x_4 – сорт семян яровых зерновых культур (СС), 1 – «*Вторая репродукция*», 2 – «*Первая репродукция*», 3 – «*Элита*» или «*Суперэлита*»;

x_5 – Норма высева (НВ), млн. шт./га.

Выходным результирующим показателем Y является ожидаемая урожайность яровых зерновых культур (ц/га).

В таблице 1 приведены прогнозы экспертов.

Т а б л и ц а1 **Матрица опроса для прогнозирования урожайности ЯЗК с экспертными оценками**

№	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	Y		
						д.б.н Архипов М.В.	Бывш. агроном Глущенко А.Б	Агроном Лавренюк И.Е.
1	-1	-1	-1	-1	-1	до 20	от 12 до 13	от 14 до 15
2	1	-1	-1	-1	-1	до 20	от 12 до 13	от 14 до 16
3	-1	1	-1	-1	-1	до 20	от 13 до 15	от 15 до 17
4	1	1	-1	-1	-1	от 20 до 22	от 14 до 17	от 16 до 19
5	-1	-1	1	-1	-1	22	16	от 18 до 20
6	1	-1	1	-1	-1	23	от 20 до 22	от 18 до 20
7	-1	1	1	-1	-1	25	26	от 25 до 28
8	1	1	1	-1	-1	28	от 28 до 30	от 27 до 30
9	-1	-1	-1	1	-1	24	от 18 до 20	от 20 до 22
10	1	-1	-1	1	-1	от 22 до 24	от 22 до 23	от 22 до 25
11	-1	1	-1	1	-1	от 24 до 25	от 22 до 23	от 20 до 22
12	1	1	-1	1	-1	25	26	от 25 до 27
13	-1	-1	1	1	-1	от 24 до 25	от 12 до 15	от 24 до 25
14	1	-1	1	1	-1	26	от 26 до 28	от 25 до 27
15	-1	1	1	1	-1	25	33	от 38 до 40
16	1	1	1	1	-1	от 37 до 40	от 39 до 44	от 40 до 45
17	-1	-1	-1	-1	1	26	15	от 16 до 18
18	1	-1	-1	-1	1	27	15	от 25 до 30
19	-1	1	-1	-1	1	27	от 30 до 32	от 26 до 28
20	1	1	-1	-1	1	28	28	от 26 до 29
21	-1	-1	1	-1	1	до 30	28	от 28 до 30
22	1	-1	1	-1	1	28	25	от 22 до 24
23	-1	1	1	-1	1	29	от 27 до 29	от 28 до 30
24	1	1	1	-1	1	30	от 33 до 35	от 28 до 30
25	-1	-1	-1	1	1	25	от 25 до 28	от 25 до 27
26	1	-1	-1	1	1	27	26	от 25 до 28
27	-1	1	-1	1	1	28	до 30	от 27 до 30
28	1	1	-1	1	1	29	30	от 27 до 29
29	-1	-1	1	1	1	27	от 27 до 28	от 27 до 30
30	1	-1	1	1	1	30	27	от 32 до 35
31	-1	1	1	1	1	от 40 до 42	от 48 до 52	от 50 до 55
32	1	1	1	1	1	43	от 55 до 60	от 60 до 70

Приложение 8. Матрицы опроса ведущих специалистов сельскохозяйственной отрасли для оценивания уровня риска потерь урожая яровых зерновых культур в тех или иных агрономических условиях.

Эксперты определили следующие основные входные факторы:

x_1 – показатель культуры возделывания яровых зерновых культур (КВ), 1 – «*Нормальный*» (хозяйственный), 2 – «*Высокоинтенсивный*», 3 – «*Высокоинтенсивный с элементами точного земледелия*»;

x_2 – оценка агроклиматических условий для проведения сева ЯЗК (АКУ), от 0 до 1;

x_3 – степень кондиционности семенного материала ЯЗК (СКСМ), от 0 до 1;

x_4 – сорт семян яровых зерновых культур (СС), 1 – «*Вторая репродукция*», 2 – «*Первая репродукция*», 3 – «*Элита*» или «*Суперэлита*»;

x_5 – Норма высева (НВ), млн. шт./га.

Выходным результирующим показателем *Y* является уровень риска потерь урожая яровых зерновых культур (вещественное число от 0 до 1).

В таблице 1 показаны оценки экспертов.

Т а б л и ц а1 **Матрица опроса для оценивания уровня риска потерь урожая ЯЗК с экспертными оценками**

№	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	Y		
						д.б.н Архипов М.В.	Бывш. агроном Глущенко А.Б	Агроном Лавренюк И.Е.
1	-1	-1	-1	-1	-1	0.65 (высокий)	0.8(оч. высокий)	0.725
2	1	-1	-1	-1	-1	0.65 (высокий)	0.725	0.65 (высокий)
3	-1	1	-1	-1	-1	0.65 (высокий)	0.65 (высокий)	0.65 (высокий)
4	1	1	-1	-1	-1	0.575 (повыш.)	0.65 (высокий)	0.65 (высокий)
5	-1	-1	1	-1	-1	0.65 (высокий)	0.65 (высокий)	0.65 (высокий)
6	1	-1	1	-1	-1	0.65 (высокий)	0.65 (высокий)	0.65 (высокий)
7	-1	1	1	-1	-1	0.65 (высокий)	0.575 (повыш.)	0.575 (повыш.)
8	1	1	1	-1	-1	0.575 (повыш.)	0.575 (повыш.)	0.5 (средний)
9	-1	-1	-1	1	-1	0.65 (высокий)	0.65 (высокий)	0.65 (высокий)
10	1	-1	-1	1	-1	0.65 (высокий)	0.65 (высокий)	0.575 (повыш.)
11	-1	1	-1	1	-1	0.575 (повыш.)	0.575 (повыш.)	0.575 (повыш.)
12	1	1	-1	1	-1	0.575 (повыш.)	0.5 (средний)	0.5 (средний)
13	-1	-1	1	1	-1	0.65 (высокий)	0.65 (высокий)	0.575 (повыш.)
14	1	-1	1	1	-1	0.65 (высокий)	0.575 (повыш.)	0.575 (повыш.)
15	-1	1	1	1	-1	0.575 (повыш.)	0.5 (средний)	0.5 (средний)
16	1	1	1	1	-1	0.5 (средний)	0.425 (пониж.)	0.5 (средний)
17	-1	-1	-1	-1	1	0.575 (повыш.)	0.8(оч. высокий)	0.65 (высокий)
18	1	-1	-1	-1	1	0.575 (повыш.)	0.65 (высокий)	0.65 (высокий)
19	-1	1	-1	-1	1	0.575 (повыш.)	0.5 (средний)	0.575 (повыш.)
20	1	1	-1	-1	1	0.575 (повыш.)	0.575 (повыш.)	0.575 (повыш.)
21	-1	-1	1	-1	1	0.65 (высокий)	0.65 (высокий)	0.65 (высокий)
22	1	-1	1	-1	1	0.5 (средний)	0.575 (повыш.)	0.65 (высокий)
23	-1	1	1	-1	1	0.5 (средний)	0.5 (средний)	0.425 (пониж.)
24	1	1	1	-1	1	0.5 (средний)	0.5 (средний)	0.5 (средний)
25	-1	-1	-1	1	1	0.575 (повыш.)	0.575 (повыш.)	0.575 (повыш.)
26	1	-1	-1	1	1	0.575 (повыш.)	0.5 (средний)	0.5 (средний)
27	-1	1	-1	1	1	0.575 (повыш.)	0.575 (повыш.)	0.65 (высокий)
28	1	1	-1	1	1	0.575 (повыш.)	0.575 (повыш.)	0.575 (повыш.)
29	-1	-1	1	1	1	0.575 (повыш.)	0.575 (повыш.)	0.65 (высокий)
30	1	-1	1	1	1	0.575 (повыш.)	0.5 (средний)	0.5 (средний)
31	-1	1	1	1	1	0.425 (пониж.)	0.35 (низкий)	0.35 (низкий)
32	1	1	1	1	1	0.35 (низкий)	0.35 (низкий)	0.35 (низкий)

Приложение 9. База правил для нечеткой модели для оценивания условий проведения сева яровых зерновых культур.

База правил:

№	X1(Прогнозируемая урожайность, Ц/га)		X2(Уровень риска потерь урожая)		X3(Норма высева, млн. шт/га)		Комплексная оценка
1.	14	&	очень высокий риск	&	8 (*очень высокая*)	=>	0.045
2.	19	&	очень высокий риск	&	8 (*очень высокая*)	=>	0.075
3.	24	&	очень высокий риск	&	8 (*очень высокая*)	=>	0.19
4.	29	&	очень высокий риск	&	8 (*очень высокая*)	=>	0.255
5.	34	&	очень высокий риск	&	8 (*очень высокая*)	=>	0.315
6.	45	&	очень высокий риск	&	8 (*очень высокая*)	=>	0.355
7.	60	&	очень высокий риск	&	8 (*очень высокая*)	=>	0.4
8.	14	&	высокий риск	&	8 (*очень высокая*)	=>	0.095
9.	19	&	высокий риск	&	8 (*очень высокая*)	=>	0.15
10.	24	&	высокий риск	&	8 (*очень высокая*)	=>	0.2
11.	29	&	высокий риск	&	8 (*очень высокая*)	=>	0.28
12.	34	&	высокий риск	&	8 (*очень высокая*)	=>	0.35
13.	45	&	высокий риск	&	8 (*очень высокая*)	=>	0.375
14.	60	&	высокий риск	&	8 (*очень высокая*)	=>	0.415
15.	14	&	риск выше среднего	&	8 (*очень высокая*)	=>	0.185
16.	19	&	риск выше среднего	&	8 (*очень высокая*)	=>	0.22
17.	24	&	риск выше среднего	&	8 (*очень высокая*)	=>	0.315
18.	19	&	риск выше среднего	&	8 (*очень высокая*)	=>	0.32
19.	34	&	риск выше среднего	&	8 (*очень высокая*)	=>	0.34
20.	45	&	риск выше среднего	&	8 (*очень высокая*)	=>	0.415
21.	60	&	риск выше среднего	&	8 (*очень высокая*)	=>	0.44
22.	14	&	средний риск	&	8 (*очень высокая*)	=>	0.23
23.	19	&	средний риск	&	8 (*очень высокая*)	=>	0.25
24.	24	&	средний риск	&	8 (*очень высокая*)	=>	0.355
25.	29	&	средний риск	&	8 (*очень высокая*)	=>	0.44
26.	34	&	средний риск	&	8 (*очень высокая*)	=>	0.475
27.	45	&	средний риск	&	8 (*очень высокая*)	=>	0.54
28.	60	&	средний риск	&	8 (*очень высокая*)	=>	0.645
29.	14	&	риск ниже среднего	&	8 (*очень высокая*)	=>	0.25

№	X1(Прогнозируемая урожайность, Ц/га)		X2(Уровень риска потерь урожая)		X3(Норма высева, млн. шт/га)		Комплексная оценка
30.	19	&	риск ниже среднего	&	8 (*очень высокая*)	=>	0.26
31.	24	&	риск ниже среднего	&	8 (*очень высокая*)	=>	0.37
32.	29	&	риск ниже среднего	&	8 (*очень высокая*)	=>	0.455
33.	34	&	риск ниже среднего	&	8 (*очень высокая*)	=>	0.56
34.	45	&	риск ниже среднего	&	8 (*очень высокая*)	=>	0.64
35.	60	&	риск ниже среднего	&	8 (*очень высокая*)	=>	0.755
36.	14	&	низкий риск	&	8 (*очень высокая*)	=>	0.26
37.	19	&	низкий риск	&	8 (*очень высокая*)	=>	0.27
38.	24	&	низкий риск	&	8 (*очень высокая*)	=>	0.38
39.	29	&	низкий риск	&	8 (*очень высокая*)	=>	0.465
40.	34	&	низкий риск	&	8 (*очень высокая*)	=>	0.575
41.	45	&	низкий риск	&	8 (*очень высокая*)	=>	0.68
42.	60	&	низкий риск	&	8 (*очень высокая*)	=>	0.82
43.	14	&	очень высокий риск	&	7 (*высокая*)	=>	0.05
44.	19	&	очень высокий риск	&	7 (*высокая*)	=>	0.08
45.	24	&	очень высокий риск	&	7 (*высокая*)	=>	0.2
46.	29	&	очень высокий риск	&	7 (*высокая*)	=>	0.27
47.	34	&	очень высокий риск	&	7 (*высокая*)	=>	0.33
48.	45	&	очень высокий риск	&	7 (*высокая*)	=>	0.375
49.	60	&	очень высокий риск	&	7 (*высокая*)	=>	0.42
50.	14	&	высокий риск	&	7 (*высокая*)	=>	0.1
51.	19	&	высокий риск	&	7 (*высокая*)	=>	0.16
52.	24	&	высокий риск	&	7 (*высокая*)	=>	0.225
53.	29	&	высокий риск	&	7 (*высокая*)	=>	0.3
54.	34	&	высокий риск	&	7 (*высокая*)	=>	0.37
55.	45	&	высокий риск	&	7 (*высокая*)	=>	0.395
56.	60	&	высокий риск	&	7 (*высокая*)	=>	0.435
57.	14	&	риск выше среднего	&	7 (*высокая*)	=>	0.195
58.	19	&	риск выше среднего	&	7 (*высокая*)	=>	0.23
59.	24	&	риск выше среднего	&	7 (*высокая*)	=>	0.335
60.	19	&	риск выше среднего	&	7 (*высокая*)	=>	0.35
61.	34	&	риск выше среднего	&	7 (*высокая*)	=>	0.375
62.	45	&	риск выше среднего	&	7 (*высокая*)	=>	0.43

№	X1(Прогнозируемая урожайность, Ц/га)		X2(Уровень риска потерь урожая)		X3(Норма высева, млн. шт/га)		Комплексная оценка
63.	60	&	риск выше среднего	&	7 (*высокая*)	=>	0.47
64.	14	&	средний риск	&	7 (*высокая*)	=>	0.25
65.	19	&	средний риск	&	7 (*высокая*)	=>	0.27
66.	24	&	средний риск	&	7 (*высокая*)	=>	0.38
67.	29	&	средний риск	&	7 (*высокая*)	=>	0.47
68.	34	&	средний риск	&	7 (*высокая*)	=>	0.52
69.	45	&	средний риск	&	7 (*высокая*)	=>	0.6
70.	60	&	средний риск	&	7 (*высокая*)	=>	0.68
71.	14	&	риск ниже среднего	&	7 (*высокая*)	=>	0.265
72.	19	&	риск ниже среднего	&	7 (*высокая*)	=>	0.28
73.	24	&	риск ниже среднего	&	7 (*высокая*)	=>	0.395
74.	29	&	риск ниже среднего	&	7 (*высокая*)	=>	0.485
75.	34	&	риск ниже среднего	&	7 (*высокая*)	=>	0.59
76.	45	&	риск ниже среднего	&	7 (*высокая*)	=>	0.7
77.	60	&	риск ниже среднего	&	7 (*высокая*)	=>	0.795
78.	14	&	низкий риск	&	7 (*высокая*)	=>	0.27
79.	19	&	низкий риск	&	7 (*высокая*)	=>	0.285
80.	24	&	низкий риск	&	7 (*высокая*)	=>	0.4
81.	29	&	низкий риск	&	7 (*высокая*)	=>	0.49
82.	34	&	низкий риск	&	7 (*высокая*)	=>	0.595
83.	45	&	низкий риск	&	7 (*высокая*)	=>	0.71
84.	60	&	низкий риск	&	7 (*высокая*)	=>	0.86
85.	14	&	очень высокий риск	&	5 (*средняя*)	=>	0.07
86.	19	&	очень высокий риск	&	5 (*средняя*)	=>	0.1
87.	24	&	очень высокий риск	&	5 (*средняя*)	=>	0.25
88.	29	&	очень высокий риск	&	5 (*средняя*)	=>	0.34
89.	34	&	очень высокий риск	&	5 (*средняя*)	=>	0.39
90.	45	&	очень высокий риск	&	5 (*средняя*)	=>	0.43
91.	60	&	очень высокий риск	&	5 (*средняя*)	=>	0.48
92.	14	&	высокий риск	&	5 (*средняя*)	=>	0.13
93.	19	&	высокий риск	&	5 (*средняя*)	=>	0.2
94.	24	&	высокий риск	&	5 (*средняя*)	=>	0.29
95.	29	&	высокий риск	&	5 (*средняя*)	=>	0.395

№	X1(Прогнозируемая урожайность, Ц/га)		X2(Уровень риска потерь урожая)		X3(Норма высева, млн. шт/га)		Комплексная оценка
96.	34	&	высокий риск	&	5 (*средняя*)	=>	0.42
97.	45	&	высокий риск	&	5 (*средняя*)	=>	0.45
98.	60	&	высокий риск	&	5 (*средняя*)	=>	0.51
99.	14	&	риск выше среднего	&	5 (*средняя*)	=>	0.22
100.	19	&	риск выше среднего	&	5 (*средняя*)	=>	0.27
101.	24	&	риск выше среднего	&	5 (*средняя*)	=>	0.39
102.	29	&	риск выше среднего	&	5 (*средняя*)	=>	0.42
103.	34	&	риск выше среднего	&	5 (*средняя*)	=>	0.45
104.	45	&	риск выше среднего	&	5 (*средняя*)	=>	0.48
105.	60	&	риск выше среднего	&	5 (*средняя*)	=>	0.51
106.	14	&	средний риск	&	5 (*средняя*)	=>	0.275
107.	19	&	средний риск	&	5 (*средняя*)	=>	0.295
108.	24	&	средний риск	&	5 (*средняя*)	=>	0.42
109.	29	&	средний риск	&	5 (*средняя*)	=>	0.515
110.	34	&	средний риск	&	5 (*средняя*)	=>	0.565
111.	45	&	средний риск	&	5 (*средняя*)	=>	0.64
112.	60	&	средний риск	&	5 (*средняя*)	=>	0.745
113.	14	&	риск ниже среднего	&	5 (*средняя*)	=>	0.285
114.	19	&	риск ниже среднего	&	5 (*средняя*)	=>	0.295
115.	24	&	риск ниже среднего	&	5 (*средняя*)	=>	0.43
116.	29	&	риск ниже среднего	&	5 (*средняя*)	=>	0. 53
117.	34	&	риск ниже среднего	&	5 (*средняя*)	=>	0.63
118.	45	&	риск ниже среднего	&	5 (*средняя*)	=>	0.74
119.	60	&	риск ниже среднего	&	5 (*средняя*)	=>	0.84
120.	14	&	низкий риск	&	5 (*средняя*)	=>	0.29
121.	19	&	низкий риск	&	5 (*средняя*)	=>	0.3
122.	24	&	низкий риск	&	5 (*средняя*)	=>	0.435
123.	29	&	низкий риск	&	5 (*средняя*)	=>	0.54
124.	34	&	низкий риск	&	5 (*средняя*)	=>	0.64
125.	45	&	низкий риск	&	5 (*средняя*)	=>	0.75
126.	60	&	низкий риск	&	5 (*средняя*)	=>	0.89
127.	14	&	очень высокий риск	&	3 (*низкая*)	=>	0.085
128.	19	&	очень высокий риск	&	3 (*низкая*)	=>	0.12

№	X1(Прогнозируемая урожайность, Ц/га)		X2(Уровень риска потерь урожая)		X3(Норма высева, млн. шт/га)		Комплексная оценка
129.	24	&	очень высокий риск	&	3 (*низкая*)	=>	0.28
130.	29	&	очень высокий риск	&	3 (*низкая*)	=>	0.375
131.	34	&	очень высокий риск	&	3 (*низкая*)	=>	0.41
132.	45	&	очень высокий риск	&	3 (*низкая*)	=>	0.46
133.	60	&	очень высокий риск	&	3 (*низкая*)	=>	0.5
134.	14	&	высокий риск	&	3 (*низкая*)	=>	0.15
135.	19	&	высокий риск	&	3 (*низкая*)	=>	0.225
136.	24	&	высокий риск	&	3 (*низкая*)	=>	0.31
137.	29	&	высокий риск	&	3 (*низкая*)	=>	0.42
138.	34	&	высокий риск	&	3 (*низкая*)	=>	0.44
139.	45	&	высокий риск	&	3 (*низкая*)	=>	0.475
140.	60	&	высокий риск	&	3 (*низкая*)	=>	0.535
141.	14	&	риск выше среднего	&	3 (*низкая*)	=>	0.235
142.	19	&	риск выше среднего	&	3 (*низкая*)	=>	0.295
143.	24	&	риск выше среднего	&	3 (*низкая*)	=>	0.42
144.	29	&	риск выше среднего	&	3 (*низкая*)	=>	0.45
145.	34	&	риск выше среднего	&	3 (*низкая*)	=>	0.475
146.	45	&	риск выше среднего	&	3 (*низкая*)	=>	0.5
147.	60	&	риск выше среднего	&	3 (*низкая*)	=>	0.54
148.	14	&	средний риск	&	3 (*низкая*)	=>	0.29
149.	19	&	средний риск	&	3 (*низкая*)	=>	0.31
150.	24	&	средний риск	&	3 (*низкая*)	=>	0.45
151.	29	&	средний риск	&	3 (*низкая*)	=>	0.54
152.	34	&	средний риск	&	3 (*низкая*)	=>	0.58
153.	45	&	средний риск	&	3 (*низкая*)	=>	0.675
154.	60	&	средний риск	&	3 (*низкая*)	=>	0.8
155.	14	&	риск ниже среднего	&	3 (*низкая*)	=>	0.295
156.	19	&	риск ниже среднего	&	3 (*низкая*)	=>	0.3
157.	24	&	риск ниже среднего	&	3 (*низкая*)	=>	0.46
158.	29	&	риск ниже среднего	&	3 (*низкая*)	=>	0.55
159.	34	&	риск ниже среднего	&	3 (*низкая*)	=>	0.66
160.	45	&	риск ниже среднего	&	3 (*низкая*)	=>	0.79
161.	60	&	риск ниже среднего	&	3 (*низкая*)	=>	0.87

№	X1(Прогнозируемая урожайность, Ц/га)		X2(Уровень риска потерь урожая)		X3(Норма высева, млн. шт/га)		Комплексная оценка
162.	14	&	низкий риск	&	3 (*низкая*)	=>	0.3
163.	19	&	низкий риск	&	3 (*низкая*)	=>	0.305
164.	24	&	низкий риск	&	3 (*низкая*)	=>	0.465
165.	29	&	низкий риск	&	3 (*низкая*)	=>	0.56
166.	34	&	низкий риск	&	3 (*низкая*)	=>	0.67
167.	45	&	низкий риск	&	3 (*низкая*)	=>	0.795
168.	60	&	низкий риск	&	3 (низкая)	=>	0.93

Правила были сформированы по следующему принципу:

1. Вес входных показателей «Прогнозируемая урожайность» и «Степень риска» существенно выше, чем у показателя «Норма высева».
2. Низкий уровень урожайности или высокий уровень риска резко снижают уровень комплексной оценки.