

Нечеткое управление роботизированной дождевальнoй машиной типа «Фрегат»

П.С. Романов¹, А.И. Рязанцев², А.О. Антипов², И.П. Романова³

¹Коломенский институт (филиал) Московского политехнического университета,
Коломна

²Государственный социально-гуманитарный университет, Коломна

³Национальный исследовательский московский государственный строительный
университет (НИУ МГСУ)

Аннотация. В статье определены задачи, которые могут решаться роботами сельскохозяйственного назначения. Проведена постановка задачи по роботизации дождевальной машины (ДМ) типа «Фрегат» за счет нечеткого управления технологическими процессами полива, что позволяет контролировать поливную норму на протяжении всего поливного сезона вне зависимости от различных неопределенных факторов, влияющих на качество полива. Предложено использовать в ДМ кран-задатчик аналогового действия, работающий от электричества, нечеткое управление которым будет осуществляться системой управления с подсистемой диагностики, включающей датчики измерения влажности почвы и наклона ДМ на различных участках поля. Разработана математическая модель нечеткого управления дождевальной машиной за счет программного регулирования подачи воды в зависимости от формы рельефа поля, скорости перемещения машины по полю и влажности почвы с целью уменьшения расхода воды и повышения эффективности ДМ. В качестве алгоритма нечеткого вывода предложен алгоритм Мамдани, который реализуется в пакете MATLAB. Формализация описания показателей машины проведена при помощи лингвистических переменных. Предлагаемая математическая модель может быть использована при проектировании систем управления другими роботизированными сельскохозяйственными машинами.

Ключевые слова: роботизированная дождевальная машина, нечеткое управление, математическая модель, алгоритм нечеткого вывода, лингвистическая переменная, термножество лингвистической переменной, базовое множество.

Введение

Использованию робототехнических систем (РТС) в сельском хозяйстве присущи некоторые особенности: значительная территориальная протяженность и разбросанность сельскохозяйственных предприятий на большой площади; сезонность работ; сильная зависимость от климатических и погодных условий; необходимость контакта с животными и растительными организмами, которые сильно различаются по своим характеристикам и имеют свои специальные требования к взаимодействию с ними [1,2].

В сельском хозяйстве с помощью роботов могут решаться следующие задачи [1]: вождение сельскохозяйственной техники; укладка рассады в высаживающий аппарат рассадочной машины; обработка овощей и картофеля после их уборки; разнообразные работы в теплицах; выполнение основных технологических операций в животноводстве и птицеводстве; задачи агропромышленной логистики на складах, в хранилищах и других пунктах; проведение технологических операций на основе комплексной автоматизации с использованием и роботизированных технологических комплексов на предприятиях по переработке сельхозпродукции.

Решение этих и других подобных задач с помощью РТС позволит повысить производительность в сельском хозяйстве, а, следовательно, приведет к снижению себестоимости сельскохозяйственных продуктов.

Одним из направлений научно-технического прогресса в области мелиорации и водного хозяйства на современном этапе развития является модернизация существующих и создание нового поколения дождевальных машин (ДМ) и установок, реализующих малоинтенсивные, экологически безопасные, ресурсосберегающие технологии орошения, прежде всего, за счет их механизации и автоматизации. Особенно это актуально для ДМ «Фрегат», которые достаточно широко применяются во всех зонах России, что обусловлено простотой их конструкции, высокой надежностью и хорошей согласованностью с технологией возделывания сельскохозяйственных культур. На показатели работы ДМ сильное влияние оказывают: рельеф орошаемой площади, вид растений, посаженных на поле, скорость перемещения ДМ по полю, влажность почвы, тип почвы [3].

Постановка задачи исследований

При всех своих достоинствах ДМ «Фрегат» обладает рядом недостатков. При поливе по обычной технологии перед запуском машины устанавливается нужная поливная норма с помощью крана-задатчика

скорости последней тележки. При этом поливная норма и время одного полного оборота изменяется, и зависят от числа ходов в минуту гидроцилиндра последней опоры. Для ДМ-454-100 при назначениях значениях данного показателя 4.6, 3.45 и 2.75 ходов в минуту обеспечивается подача поливной нормы в размере соответственно 300, 400 и 500 м³/га, а продолжительность одного оборота машины составляет соответственно 61; 81 и 102 часов [3,4].

Кран-задатчик может поворачиваться на угол от 0 до 90°. При полностью открытом кране скорость последней тележки, а, следовательно, и всей ДМ максимальна, но расход воды минимальный. Так, для ДМ, состоящей из 16 тележек при расходе 100 л/с (расход обусловлен устройством и количеством дождевальных насадок) при полностью открытом кране поливная норма составит 240 м³/га (см. [4]).

В ходе проведенных исследований и расчетов было установлено, что график зависимости поливной нормы от числа ходов цилиндра ДМ «Фрегат», построенный на основе данных из [4], близок к экспоненциальной зависимости (получено следующее уравнение: $y = 1048e^{-0,27x}$, см. рис.1). На рис.1 расчетные точки на графике соединены линией для сравнения с линией тренда (выделены разными цветами: экспериментальная, полученная на основе экспериментальных данных [4] – синим, линия тренда (расчетная) – экспонента – красным). Расчеты проводились в Microsoft Excel.

Поливная норма и время полного оборота машины «Фрегат» при различных положениях крана-задатчика являются дискретными величинами, собственно как и сами положения крана-задатчика скорости (это связано с устройством ДМ «Фрегат» - работой от гидросистемы [4]). Это приводит к тому, что полив производится циклами за определенное время. Для обеспечения равномерного полива всей площади реального поля, имеющего определенный рельеф, влажность и структуру почвы и т.п. может

потребуется дополнительный цикл с другим расходом воды, т.е. может потребоваться другое промежуточное положение крана-задатчика скорости. Даже на одном и том же поле влажность на разных его участках может быть различной (см. [4]).

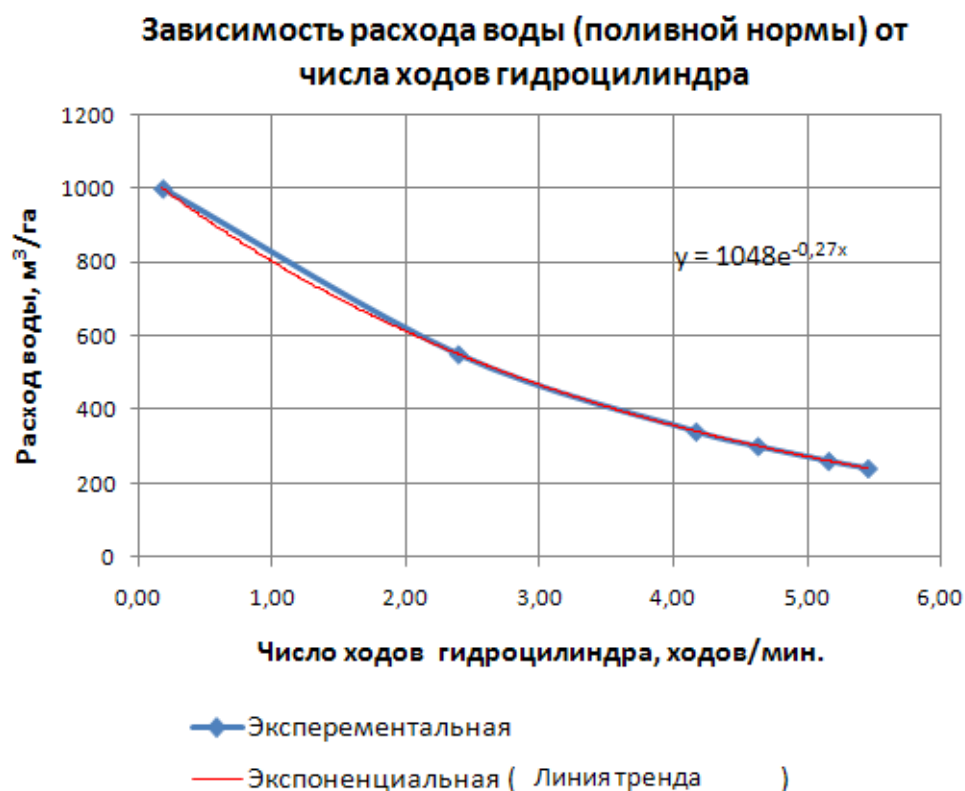


Рис.1. - Зависимость расхода воды от числа ходов цилиндра последней тележки ДМ «Фрегат»

Следовательно, желательно чтобы кран был бы аналогового действия и позволял бы производить регулировку положения крана в процессе полива в зависимости от состояния поля на конкретном его участке и конкретных природных, погодных и других условий.

Кроме того, имеются недостатки и в технологии полива, в частности, традиционная технология, применима лишь при поливе условно выровненных участков. Сюда надо добавить отсутствие достоверных методов и средств контроля, которые бы с высокой точностью определили

всю гамму характеристик дождя, в том числе энергетических, что осложняет выбор критериев оценки дождя дождевальной техники [3].

Надо отметить, что форма рельефа поля различна для разных полей и разных участков одного и того же поля и она оказывает влияние на скорость перемещения ДМ по полю. Влажность почвы, тип почвы оказывают влияние на тягово-сцепные свойства ДМ «Фрегат». Как следствие изменение этих показателей будет оказывать влияние на обеспечение равномерного полива ДМ всей площади поля. Итак, имеет место неполнота и неточность исходных данных, т.е. присутствует неопределенность, которая затрудняет или даже исключает применение точных количественных методов и подходов для описания технологических процессов полива ДМ. Сейчас они разработаны на основе традиционных методов построения математических моделей.

С одной стороны, традиционные методы построения моделей не приводят к удовлетворительным результатам, когда исходное описание проблемы, подлежащей решению, заведомо является неточным и неполным. С другой стороны, стремление получить исчерпывающую информацию для построения точной математической модели сложной реальной ситуации часто приводит к потере времени и средств, поскольку это в принципе невозможно [5,6].

Следовательно, для решения **актуальной задачи** – роботизации ДМ типа «Фрегат», необходимо разработать математическую модель, описывающую технологические процессы полива в условиях применения аналогового регулирования расхода воды, за счет применения нового крана-задатчика, а также учитывающую неполноту и неточность исходных данных. Для ДМ «Фрегат» может потребоваться введение изменений в систему управления, например, включения в систему управления крана-задатчика, работающего от электричества. А также включения в состав системы

управления подсистемы диагностики, позволяющей производить измерения влажности и определять угол наклона на различных участках поля.

Математическая постановка задачи и модель нечеткого управления роботизированной дождевальнoй машиной типа «Фрегат»

Все ситуации, возникающие при поливе поля ДМ, довольно затруднительно реализовать с помощью традиционных математических моделей, поэтому предлагается применять математические модели, учитывающих неполноту и неточность исходных данных, в данном случае нечеткое управление.

Алгоритм нечеткого управления состоит из преобразования входных переменных нечеткого логического регулятора в его выходные переменные. Определение управляющих воздействий в системе управления при таком управлении состоит из этапов: 1) получение отклонения; 2) преобразование значения отклонения к нечеткому виду; 3) оценка входного значения по заранее сформулированным правилам принятия решения посредством композиционного правила вывода; 4) вычисление детерминированного выхода, необходимого для регулирования процесса. Нечеткий алгоритм является алгоритмом логической связи, описывающей объект управления в терминах «вход-выход» в форме высказываний «если - то». Совокупность высказываний называется правилами. Вход нечеткого регулятора называется условием правила, а его выход заключением правила [2,5-7].

Основные различия в применяемых сегодня алгоритмах нечеткого вывода связаны с видом используемых правил, логическими операциями и разновидностью метода дефаззификации. Хорошо известны алгоритмы нечеткого вывода Мамдани, Сугено, Ларсена, Цукамото. Но для нечеткого вывода при решении практических задач чаще используют алгоритм Мамдани, что объясняется тем, что он включен в пакет MATLAB [5,8].

Имеется четыре способа составления правил нечеткого управления: 1) на основе знаний и опыта эксперта; 2) путем создания модели действий оператора; 3) путем обучения; 4) на основе нечеткой модели оборудования [2,9,10].

Постановка задачи. Требуется усовершенствовать систему управления технологическим процессом полива поля за счет программного регулирования подачи воды в зависимости от вида растений, посаженных на поле, формы рельефа поля, скорости перемещения ДМ по полю, влажности почвы, типа почвы, с целью уменьшения расхода воды и повышения эффективности ДМ.

Вначале построим модель для одного вида растений. Также будем считать, что поле имеет один и тот же тип почвы, а дождеватели, установленные на ДМ рассчитаны на расход воды 100 л/с. Для управления роботизированной ДМ типа «Фрегат» предлагается создание дополнительного программного обеспечения на базе программного продукта MATLAB с пакетом Fuzzy Logic Toolbox на основе знаний и опыта эксперта, а также моделирования работы оператора. Для нечеткого вывода предлагается использовать алгоритм Мамдани. С учетом выше изложенного сформулируем основные положения математической модели. Приведем основные положения алгоритма Мамдани на основе работ [2,6,11].

Формирование базы правил осуществляется в виде «IF A THEN B », где антецеденты ядер построены при помощи логических связок «И», а консеквенты ядер правил нечеткой продукции простые.

Агрегирование подусловий при помощи логической операции «И». Для двух элементарных высказываний A, B: $T(A \cap B) = \min\{T(A); T(B)\}$.

Активизация подзаклучений алгоритма Мамдани – это min-активизации: $\mu(y) = \min\{c; \mu(x)\}$, где $\mu(x)$ – функции принадлежности

термов лингвистических переменных, $x \in X$ (X – универсальное множество); c – степени истинности нечетких высказываний A и B ; $\mu(y)$ – функции принадлежности каждого из элементарных подзаклучений.

Аккумуляция подзаклучений алгоритма Мамдани – это max-объединения: $\forall x \in X, \mu_{A \cup B}(x) = \max\{\mu_A(x); \mu_B(x)\}$.

Дефаззификация проводится методом центра тяжести:

$$y = \frac{\int_{\min}^{\max} x \cdot \mu(x) dx}{\int_{\min}^{\max} \mu(x) dx}.$$

Для определения входного и выходного показателей, проведем небольшой анализ зависимости расхода воды от других параметров. Расход воды зависит от скорости перемещения по полю при прочих постоянных условиях (расхода воды дождевателями, количестве тележек и т.п.). А скорость перемещения определяется числом ходов цилиндра последней тележки ДМ, а этот параметр, в свою очередь зависит от угла поворота крана-задатчика. Так как предполагается установить шаровой кран в качестве крана-задатчика с аналоговым углом регулирования от 0 до 90°, то входным показателем, от которого зависит поливная норма будет «Угол поворота крана». Плавное аналоговое регулирование крана приведет к плавному изменению скорости и, следовательно, к плавному изменению расхода воды.

Следовательно, входной показатель – «Угол поворота крана», а показателями, влияющими на него при принятых ранее условиях (один вид растения, один тип почвы на всем поле, дождеватели имеют расход 100 л/с), будут «Влажность почвы» на конкретном участке поля и рельеф этого поля – «Форма рельефа». Для нечеткого управления зададим показатели: «Угол поворота крана», «Форма рельефа» и «Влажность почвы». Параметр «Угол поворота крана» определяется конструктивными особенностями ДМ. Параметры, влияющие на расход воды, – это «Форма рельефа», «Влажность

почвы», поэтому в правилах нечеткого вывода в качестве условий (антецедентов) выступают «Форма рельефа» и «Влажность почвы», а заключением (консеквентом) – показатель «Угол поворота крана».

База правил системы нечеткого вывода управления подачей воды составляется на основе знаний эксперта (экспертов) и возможно моделирования действий оператора. В ДМ имеется непрерывная управляемая подача воды и непрерывный неуправляемый расход воды. База правил системы нечеткого вывода соответствует знаниям эксперта о том, какой необходимо выбрать подачу воды за счет угла поворота крана, чтобы обеспечить качественный полив поля в зависимости от формы рельефа поля и влажности почвы.

Формализацию описания показателей: «Угол поворота крана», «Форма рельефа», «Влажность почвы» ДМ предлагается проводить при помощи лингвистических переменных. Пусть $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_p\}$ - множество показателей, значениями которых описываются состояния ДМ. С учетом того, что допускается упрощенное определение лингвистической переменной в виде тройки $\langle \beta, T, U \rangle$ [9,12], где β - название лингвистической переменной, T – ее терм-множество, U - область ее определения (базовое множество), то тогда каждый показатель y_i ($i \in \overline{1, p}$) описывается соответствующей лингвистической переменной $\langle y_i, T_i, U_i \rangle$, где $T_i = \{T_1^i, T_2^i, \dots, T_{m_i}^i\}$ - терм-множество лингвистической переменной y_i (набор лингвистических значений показателя, m_i - число значений признака); U_i - базовое множество показателя y_i . Для описания термов T_j^i ($j \in \overline{1, m_i}$), соответствующих значениям показателя y_i , используются нечеткие переменные $\langle T_j^i, U_i, \tilde{C}_j^i \rangle$, т.е. значение T_j^i описывается нечетким множеством \tilde{C}_j^i в базовом множестве U_i :

$$\tilde{C}_j^i = \left\langle \mu_{C_j^i}(u) / u \right\rangle, u \in U_i.$$

Надо отметить, что расход воды (поливная норма) ДМ «Фрегат» согласно данным приведенным в [4] может быть больше $550 \text{ м}^3/\text{га}$, которое определяется положением крана-задатчика – кран находится в положении «Г». Так, для расхода воды дождевателями 100 л/с для ДМ, состоящей из 16 тележек, поливная норма может быть $1060 \text{ м}^3/\text{га}$ и даже $8390 \text{ м}^3/\text{га}$, но это характерно только для очень засушливых районов и не используется в центральных районах России [4].

Исходя из этого, лингвистическая переменная y_1 - «Угол поворота крана» будет описана с помощью термов T_1 – {«очень малый», «малый», «средний», «небольшой», «большой»} на базовом множестве $[0^0; 90^0]$.

Лингвистическая переменная y_2 - «Форма рельефа» будет задана термами T_2 – {«сильно отрицательная», «отрицательная», «плоская», «положительная», «сильно положительная»} на базовом множестве $[-5; 5]$ градусов наклона рельефа местности.

Лингвистическая переменная y_3 – «Влажность почвы» будет задана термами T_3 – {«очень малая», «малая», «средняя», «большая», «избыточная»} на множестве $[20; 90]$ %.

Для каждой из переменных приведем описание элементов T_j^i термножеств. T_i заданы лингвистическими нечеткими множествами:

$i=1$ («Угол поворота», базовое множество $U_1=\{0,10,20,30,40,50,60,70,80,90\}$): **ОЧЕНЬ МАЛЫЙ**: $OM=\{1,0/0; 0,5/10\}$; **МАЛЫЙ**: $M=\{0,36/10; 1,0/20; 0,48/30\}$; **СРЕДНИЙ**: $S=\{0,25/30; 0,75/40; 0,8/50; 0,25/60\}$; **НЕБОЛЬШОЙ**: $НБ=\{0,5/60; 1,0/70; 0,27/80\}$; **БОЛЬШОЙ**: $Б=\{0,5/80; 1,0/90\}$;

$i=2$: («Форма рельефа», базовое множество $U_2=\{-5,0;-4,0;-3,0;-2,0;-1,0;0;1,0;2,0;3,0;4,0;5,0\}$): **СИЛЬНО ОТРИЦАТЕЛЬНАЯ**: $СО=\{1,0/-5,0; 0,5/-4,0\}$; **ОТРИЦАТЕЛЬНАЯ**: $О=\{0,25/-4,0; 0,75/-3,0; 0,75/-2,0; 0,25/-1,0\}$; **ПЛОСКАЯ**: $ПЛ=\{0,5/-1,0; 1,0/0; 0,5/1,0\}$; **ПОЛОЖИТЕЛЬНАЯ**: $П=\{0,25/1,0; 0,75/2,0; 0,75/3,0; 0,25/4,0\}$; **СИЛЬНО ПОЛОЖИТЕЛЬНАЯ**:

$СП = \{0,5/4,0; 1,0/5,0\};$

$i=3$: («Влажность почвы», базовая множество –
 $U_3 = \{20; 30; 40; 50; 60; 70; 80; 90\}$): *ОЧЕНЬ МАЛАЯ*: $OM = \{1,0/20; 0,5/30\}$;
МАЛАЯ: $M = \{0,38/30; 1,0/40; 0,27/50\}$; *СРЕДНЯЯ*: $C = \{0,6/50; 0,75/60; 0,25/70\}$;
БОЛЬШАЯ: $B = \{0,28/60; 1,0/70; 0,3/80\}$; *ИЗБЫТОЧНАЯ*: $I = \{0,5/80; 1,0/90\}$.

Приведем пример записи правила системы нечеткого вывода, соответствующей знаниям эксперта о том, какой угол поворота крана-здатчика необходимо выбрать для подачи воды при поливе поля с плоским рельефом и малой влажностью:

ПРАВИЛО <1>: ЕСЛИ «Форма рельефа» - плоская И «Влажность почвы» - малая ТО «Угол поворота» - средний.

В базу знаний правил заполняют правилами всевозможных сочетаний условий с соответствующими заключениями по ним. По заполнению правил, дальнейшие действия осуществляют по следующим этапам, которые реализуют на базе нечеткой логики: формирование базы правил системы, фаззификация исходных данных, агрегирование подусловий, активизация подзаключений, аккумулярование заключений, дефаззификация, с учетом выбранного алгоритма нечеткого вывода [2,6].

Для нечеткого управления роботизированной ДМ типа «Фрегат» предлагается применять алгоритм Мамдани по соображениям, рассмотренным ранее, и создать дополнительное программное обеспечение на базе интегрированного программного продукта MATLAB с пакетом Fuzzy Logic Toolbox на основе знаний и опыта экспертов, а также моделирования работы оператора.

Заключение

Роботизацию ДМ типа «Фрегат» предлагается проводить за счет нечеткого управления технологическими процессами полива, что позволяет контролировать поливную норму на протяжении всего поливного сезона вне

зависимости от различных неопределенных факторов, влияющих на качество полива. Для этого в ДМ необходимо использовать кран-задатчик аналогового действия, работающий от электричества, нечеткое управление которым будет осуществляться системой управления с подсистемой диагностики, включающей датчики измерения влажности почвы и наклона ДМ на различных участках поля. Разработана математическая модель нечеткого управления ДМ за счет программного регулирования подачи воды в зависимости от формы рельефа поля, скорости перемещения машины по полю и влажности почвы с целью уменьшения расхода воды и повышения эффективности ДМ. В качестве алгоритма нечеткого вывода предлагается алгоритм Мамдани. Предлагаемая математическая модель может быть использована при проектировании систем управления и другими типами роботизированных сельскохозяйственных машин.

Дальнейшие исследования необходимо проводить по разработке аппаратной составляющей предлагаемой системы управления и крана-задатчика, работающего от электричества.

Литература

1. Интеллектуальные роботы / Каляев И.А., Лохин В.М., Макаров И.М. и др. / под общей ред. Е.И. Юревича. М.: Машиностроение, 2007. 360 с.
2. Романов П.С., Романова И.П. Математическая модель нечеткого управления портальной автомобильной мойкой //Инженерный вестник Дона, 2018. №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4730/.
3. Рязанцев А.И., Антипов А.О. Эксплуатация транспортных систем многоопорных машин. Коломна: ГСГУ, 2016. 225 с.
4. Рязанцев А.И., Гаврилица А.О., Пеньков М.С., Мангул И.Д. Рекомендации по обоснованию рациональной технологии полива склоновых земель машиной «Фрегат». Кишинев: Картя Молдовеняскэ, 1990. 35 с.
5. Кафиев И.Р., Романов П. С., Романова И.П. К вопросу нечеткого

управления электроприводами сельскохозяйственных интеллектуальных роботов // Российский электронный научный журнал, 2017. №4. URL: journal.bsau.ru/number4-2017.php. – 12.12.2017.

6. Рыбин И.А., Рубанов В.Г. Математическая модель системы управления мобильного транспортного средства // Мехатроника, автоматизация, управление. 2017. Т.18. №5. С. 333-340.

7. Zavadskas E.K., Peldschus F. Fuzzy matrix games multi-criteria model for decision-making in engineering. Informatica, Vol. 16. № 1. 2005. pp. 107-120.

8. Степанов К.С., Панкова Н.Г. Оптимизация лабораторного практикума по электротехнике с применением системы MatLabSimulink // Инженерный вестник Дона, 2014. №4 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2014/2628/.

9. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / Под ред. Поспелова Д.А. М.: Наука, 1986. 312 с.

10. Венцов Н.Н., Долгов В.В., Подколзина Л.А. Об одном способе построения запросов к базе данных на основе аппарата нечеткой логики //Инженерный вестник Дона, 2015. №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3172/.

11. Борисов А.Н., Крумберг О.А., Федоров И.П. Принятие решений на основе нечетких моделей. Примеры использования. Рига: Зинатне, 1990. 184с.

12. Zaden L.A. Fuzzy Algorithm// Information Control. 1968. Vol.12. №2. pp. 94-102.

References

1. Intellektual'nye roboty [Intelligent robots]. Kaljaev I.A., Lohin V.M., Makarov I.M. i dr. Pod obshhej red. E.I. Jurevicha. M.: Mashinostroenie, 2007. 360 p.

2. Romanov P.S., Romanova I.P. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2018, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4730/.



3. Ryazantsev A.I., Antipov A.O. Jekspluatacija transportnyh sistem mnogoopornyh mashin [Transport systems multisupporting machines]. Kolomna: GSGU, 2016. 225 p.
4. Ryazantsev A.I., Gavrilica A.O., Pen'kov M.S., Mangul I.D. Rekomendacii po obosnovaniju racional'noj tehnologii poliva sklonovyh zemel' mashinoj «Fregat» [Guidelines for substantiation of rational technology of sloping land irrigation machine "Fregat"]. Kishinev: Kartja Moldovenjaskje, 1990. 35 p.
5. Kafiev I.R., Romanov P.S., Romanova I.P. Rossijskij jelektronnyj nauchnyj zhurnal, 2017. №4. URL: journal.bsau.ru/number4-2017.php. 12.12.2017.
6. Rybin I.A., Rubanov V.G. Mehatronika, avtomatizacija, upravlenie. 2017. V.18. №5. pp. 333-340.
7. Zavadskas E.K., Peldschus F. Informatica, Vol. 16. № 1. 2005.pp. 107-120.
8. Stepanov K.S., Pankova N.G. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2014, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2014/2628/.
9. Nechetkie mnozhestva v modeljah upravljenja i iskusstvennogo intellekta [Fuzzy sets in control and artificial intelligence models]. Pod red. Pospelova D.A. M.: Nauka, 1986. 312 p.
10. Vencov N.N., Dolgov V.V., Podkolzina L.A. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2015, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3172/.
11. Borisov A.N., Krumberg O.A., Fedorov I.P. Prinjatje reshenij na osnove nechetkih modelej. Primery ispol'zovanija [Decision-making based on fuzzy models. Example of use]. Riga: Zinatne, 1990. 184 p.
12. Zaden L.A. Information Control. 1968. Vol.12. №2. pp.94-102.