Authors' personal details

1. **Negovora Andrey**, Doctor of Engineering Science, Professor, Department of the Cars and Tractor Systems, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Bashkir State Agrarian University», Ufa, phone: (347) 241-68-33, e-mail: negovora@bsau.ru.

2. **Magafurov Ruslan**, senior lecturer, Department of Cars and Tractor Systems, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Bashkir State Agrarian University», Ufa, Russia, e-mail: magafuroffruslan@yandex.ru.

3. **Nizamutdinov Almaz**, engineer, Ufa, Russia, e-mail: almaz_nizamutdinov90@mail.ru.

This paper substantiates the permissible temperature limits of the working fluid when testing diesel fuel equipment. The normative and technical documentation does not indicate the optimum temperature of the working fluid during the test. The results are confirmed by experimental data obtained on a device developed by the authors for evaluating the injection characteristics. The developed device was

based on the method of fuel injection into a long pipeline. The tests revealed the effect of fuel temperature on the performance of diesel fuel equipment. Also, the tests proved that in order to obtain reliable indicators when diagnosing diesel fuel equipment it is necessary to stably maintain the operating temperature of the device in the range of 60 ± 5 °C.

© Неговора А.В., Магафуров Р.Ж., Низамутдинов А.И.

УДК 519.816:004.89

DOI: 10.31563/1684-7628-2019-51-3-106-114

И.Р. Кафиев, П.С. Романов, И.П. Романова, Р.Р. Галиуллин

МЕТОДИКА РАСПОЗНАВАНИЯ НЕЧЕТКИХ СИТУАЦИЙ ПРИ УПРАВЛЕНИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫМИ МОБИЛЬНЫМИ РОБОТАМИ

Ключевые слова: *мобильный робот; сельское хозяйство; распознавание ситуаций; нечеткая ситуация; ситуационное управление.*

Введение. Сегодня с помощью мобильных роботов в сельском хозяйстве решается ряд задач: вождение тракторов, комбайнов и другой сельхозтехники; подготовка почвы в теплицах, высев семян, опрыскивание химикатами, сбор готовой продукции (рассады, овощей, фруктов), ее сортировка и укладка в тару; разгрузка, погрузка, хранение и распределение сельхозпродукции на складах, в хранилищах и других пунктах агропромышленной логистики [1, 2].

Обычно это интеллектуальные роботы (ИР) с автономной системой навигации и передвижения, действующие в неопределенной окружающей обстановке, с управлением от оператора. В ИР технологии искусственного интеллекта (ИИ) применяют не только в системах управления (для управления собственно роботами), но и для выполнения других задач, таких как обработка сенсорной информации, формирование моделей внешней среды, оценка ситуаций и принятие решений, диалог с оператором [1, 3–7].

Планирование поведения мобильных ИР состоит из этапов: выбор стратегии исполнения задачи; формирование совокупности действий; оперативная корректировка поведения с учетом изменений окружающей обстановки. Предложенная в [7] интеллектуальная система управления (ИСУ) мобильным роботом (МР) учитывает последовательные этапы своего поведения: наблюдение (восприятие), оценивание, принятие решений, управление роботом, прогнозирование дальнейшего поведения, самообучение, которые предполагают различные уровни реализации: от простейших сенсомоторных реакций системы до качественных оценок на основе «здравого смысла».

Надо отметить, что хотя при описании модели многоуровневой ИСУ мобильным роботом больше обсуждалось оптимальное управление движением робота, но модель также призвана решать все задачи, стоящие и возникающие перед ИСУ по управлению мобильным роботом и

его подсистемами. Так, одной из важных задач управления мобильным роботом является распознавание и оценка текущей ситуации. При этом решения принимаются в зависимости от уровня определенности, полноты и точности информации о ситуации и ее оценки: на первом уровне ИСУ принимаются решения по однозначным ситуациям, на втором – по неоднозначным четким ситуациям, на третьем уровне ИСУ МР принимает решение при неоднозначных нечетких ситуациях. Значения и направления перемещений МР выбираются исходя из требований предотвращения столкновений с другими объектами (в том числе и подвижными) окружающей обстановки. При этом чем более неопределенная информация о состоянии мобильного робота и внешней среды, тем выше уровень ИСУ роботом, на котором решается задача по управлению им [7, 8].

Таким образом, разработка методики распознавания и оценки текущей ситуации для адекватного реагирования МР на возникающие ситуации для управления МР сельскохозяйственного назначения является актуальной задачей.

Цель исследования. Необходимо разработать методику распознавания и оценки текущей ситуации для совершенствования управления сельскохозяйственным мобильным роботом (МР) в сложных динамических условиях, когда имеют место неполнота и неточность исходных данных, т. е. неопределенность, затрудняющая применение точных численных методов и подходов для описания технологических процессов выполнения сельскохозяйственных работ, например, управление движением робототехническим средством (беспилотным трактором) при вспашке поля или прополке грядок [1, 2, 9].

Условия, материалы и методы исследования. Ввиду сложности или невозможности формализации задач управления их решение предполагается проводить с привлечением методов искусственного интеллекта.

Состояния, в которых может находиться объект управления, оценивают по значениям признаков. Совокупность типовых ситуаций в основном полно описывает все состояния объекта управления при условии, что при этом учтены особенности управления им. Но все особенности управления объектом учесть не представляется возможным из-за их непредсказуемости [8].

Так, например, робот, предназначенный для прополки сорняков (типа робота HortiBot), при движении по полю должен учитывать рельеф, влажность почвы, расположение грядок и про-

чие особенности поля, погодные условия; при выполнении технологической операции прополки ему необходимо определять тип растений, находящихся на том или ином участке поля, отнести их по совокупности качественных характеристик к культурным или к сорнякам и т. п. Итак, имеет место неполнота и неточность исходных данных, следовательно, есть неопределенность, затрудняющая использование численных методов и подходов в описании типовых ситуаций при использовании данного робота [1, 2].

Проведенный анализ показал, что признаки, характеризующие сложные объекты управления сельскохозяйственного назначения, могут быть различной природы: вероятностные, детерминированные, логические, качественные. Но вся совокупность состояний объекта управления сельскохозяйственного назначения можно задать комплектом типовых ситуаций. При этом каждая ситуация представляется в виде совокупности лингвистических переменных. Это обусловлено рядом причин. Во-первых, люди при управлении сложными техническими системами, в том числе сельскохозяйственными МР, используют знания из различных областей, часто ориентируются на интуицию и свой предыдущий опыт, которые при создании модели управления и при описании типовых ситуаций человеку легче дать в неформализованном виде, в форме качественных данных: человек мыслит, прежде всего, в «качествах». Во-вторых, качественное, лингвистическое описание значений признаков, как указывается в [9–11], позволяет сократить число типовых ситуаций более чем на два порядка. В-третьих, человеку удобнее вести диалог с ЭВМ в лингвистической форме [8].

Поэтому для распознавания ситуаций в ИСУ МР предлагается подход, основанный на нечетком ситуационном управлении объектами, описанный в [9, 10].

Одним из базовых понятий нечеткого ситуационного управления является термин «нечеткая ситуация».

Нечеткой ситуацией называется совокупность нечетких значений признаков, характеризующих состояние объекта. Набор нечетких ситуаций почти совпадает с комплектом типовых ситуаций.

Формально нечеткую ситуацию определяют следующим образом [9]. Есть множество признаков $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_p\}$, значениями которых характеризуются состояния объекта при управлении им. Признак y_i ($i \in I = \overline{1, p}$) определяется лингвистической переменной $\langle y_i, T_i, D_i \rangle$, где

$T_i = \{T_1^i, T_2^i, \dots, T_{m_i}^i\}$ – терм-множество лингвистической переменной y_i (совокупность лингвистических значений признака y_i , m_i – число значений y_i); D_i – универсальное множество y_i . Сами термы $T_j^i (j \in L = \overline{1, m_i})$ (для каждого признака y_i), заданы с помощью нечетких переменных вида $\langle T_j^i, D_i, \tilde{C}_j^i \rangle$, что означает, что значение T_j^i определяется нечетким множеством $\tilde{C}_j^i$ в универсальном множестве D_i : $\tilde{C}_j^i = \left\{ \mu_{C_j^i}(d)/d \right\}, d \in D_i$ [9].

$$\mu(\tilde{s}_i, \tilde{s}_j) = \bigwedge_{y_l \in Y} \mu(\mu_{s_i}(y_l), \mu_{s_j}(y_l)), \quad (2)$$

где $\mu(\mu_{s_i}(y_l), \mu_{s_j}(y_l)) = \bigwedge_{T_k^l \in T_l} C(\mu_{\mu_{s_i}(y_l)}(T_k^l), \mu_{\mu_{s_j}(y_l)}(T_k^l))$,

$$C(\mu_{\mu_{s_i}(y_l)}(T_k^l), \mu_{\mu_{s_j}(y_l)}(T_k^l)) = \begin{cases} \mu_{\mu_{s_i}(y_l)}(T_k^l) \leftrightarrow \mu_{\mu_{s_j}(y_l)}(T_k^l), & \text{если } \mu_{\mu_{s_i}(y_l)}(T_k^l) \notin (1-t, t) \text{ и} \\ & \mu_{\mu_{s_j}(y_l)}(T_k^l) \notin (1-t, t); \\ 1, & \text{если } \mu_{\mu_{s_i}(y_l)}(T_k^l) \in (1-t, t) \text{ или } \mu_{\mu_{s_j}(y_l)}(T_k^l) \in (1-t, t). \end{cases}$$

Процесс оценки нечетких ситуаций можно кратко описать следующим образом. Состояние объекта оценивается через заданные отрезки времени и задается в виде нечеткой ситуации. Эта ситуация $\tilde{s}_0$ сравнивается со всеми типовыми нечеткими ситуациями $S = \{\tilde{s}_1, \tilde{s}_2, \dots, \tilde{s}_N\}$, которые находятся в базе знаний ИСУ МР. В результате сравнения находится типовая нечеткая ситуация, которая больше всего близка входной ситуации. Сведения о ней поступают в ИСУ, где на основе решающей таблицы (форма задания аналогии между типовыми ситуациями и определенным комплектом правил управления объектом) выявляются необходимые в данном состоянии объекта варианты решения. Например, можно использовать модели нечеткого управления на основе алгоритма нечеткого вывода Мамдани, предложенные в [1].

Степень близости нечеткой ситуации $\tilde{s}_0$ нечеткой ситуации $\tilde{s}_i \in S (i \in K = \overline{1, N})$ находят с помощью типовых мер близости: степени нечеткого включения $\tilde{s}_0$ в $\tilde{s}_i$; степени нечеткого равенства $\tilde{s}_0$ и $\tilde{s}_i$; степени нечеткой общности $\tilde{s}_0$ и $\tilde{s}_i$. Подбор меры близости зависит от особенностей объекта управления и модели принятия решений по управлению им [9, 10].

Результаты исследований. Предлагается следующая методика распознавания ситуаций на основе ситуационной модели управления «ситуация – действие».

1. Создается каталог эталонных ситуаций S_S . Различие комплекта типовых $S = \{\tilde{s}_1, \tilde{s}_2, \dots, \tilde{s}_N\}$ от совокупности эталонных $S_S = \{\tilde{s}_1, \tilde{s}_2, \dots, \tilde{s}_N\}$ ($n \leq N$) ситуаций заключается в том, что S_S не

Определение 1. «Нечеткой ситуацией $\tilde{s}$ называется нечеткое множество второго уровня» [9]

$$\tilde{s} = \left\{ \left\langle \mu_s(y_i)/y_i \right\rangle, y_i \in Y \right\}, \quad (1)$$

где $\mu_s(y_i) = \left\{ \left\langle \mu_{\mu_s(y_i)}(T_j^i)/T_j^i \right\rangle, j \in L, i \in I \right\}$.

Другим важным понятием нечеткого ситуационного управления является «степень нечеткого равенства».

Определение 2. «Степень нечеткого равенства $\mu(\tilde{s}_i, \tilde{s}_j)$ ситуаций $\tilde{s}_i$ и $\tilde{s}_j$ определяется выражением» [9]:

включает в свою совокупность нечетко равных ситуаций (при заданном пороге равенства). За счет этого размерность системы правил, находящейся в базе знаний ИСУ, снижается, но это не ведет к снижению эффективности модели управления. Считается, что множество S_S полно и ситуация $\tilde{s}_i$ имеется в базе знаний для любой входной ситуации $\tilde{s}_0$. Каждая эталонная ситуация задана согласно определению 1 по формуле (1).

2. Идентифицируется состояние объекта. На данном этапе производится определение входной ситуации. На основе входной информации проводится описание входной ситуации: каждый признак $y_i (i \in I = \overline{1, p})$ характеризуется лингвистической переменной $\langle y_i, T_i, D_i \rangle$, где $T_i = \{T_1^i, T_2^i, \dots, T_{m_i}^i\}$ – терм-множество лингвистической переменной y_i (m_i – число значений признака); D – универсальное множество признака y_i . Термы $T_j^i (j \in L = \overline{1, m_i})$ признака y_i , заданы с помощью нечетких переменных $\langle T_j^i, D_i, \tilde{C}_j^i \rangle$, что означает, что значение T_j^i определяется нечетким множеством $\tilde{C}_j^i$ в универсальном множестве D_i : $\tilde{C}_j^i = \left\{ \left\langle \mu_{C_j^i}(d)/d \right\rangle, d \in D_i \right\}$ (см. определение 1). При этом учитывается, что информация, поступающая в систему, может различаться в зависимости от формы ее описания. Если поступает словесная информация, то описание лингвистическое. В систему может приходить числовая или «аналоговая» информация. Под «анало-

говой» понимается информация, которая подается на вход в виде непрерывных функций принадлежности нечетких множеств, а затем аналого-цифровые преобразователи видоизменяют ее на векторы степеней принадлежности.

Если поступает числовая информация, то применяют универсальные шкалы значений признаков и функции отображения определенных предметных шкал на универсальные по методикам, описанным в [9].

Когда приходит «аналоговая» информация, то задаются нечеткие множества на предметных шкалах, в последующем эти нечеткие множества линейно отображаются на универсальные шкалы, далее выявляются степени сходства входного множества и термов универсальной шкалы.

При функционировании ИСУ МР следует ожидать, что наиболее часто системе придется оперировать с лингвистической информацией. При поступлении лингвистической информации, соответствующей нечеткой входной ситуации $\tilde{S}_0$, для ее описания используются те же признаки, что и для эталонных ситуаций. Степени принадлежности термов устанавливают как числами из отрезка $[0, 1]$, так и с помощью слов, которые характеризуют степень соответствия термов характеристикам исследуемого объекта. При этом слова должны соответствовать словам, заложенным в таблицу лингвистических переменных в базу знаний ИСУ МР. Когда по разным причинам какие-либо термы при описании состояния объекта управления не указаны, то их степень принадлежности к входной ситуации берется равной 0,5. Таким образом, на вход подается нечеткая ситуация, возможно, не полностью определенная, т. к. могут быть не указаны степени принадлежности ряда термов значениям определенных признаков.

Экспертная информация об эталонных ситуациях и их соответствии возможным входным ситуациям может быть представлена системой нечетких высказываний вида [12]:

$$\tilde{L} = \begin{cases} \tilde{L}_{11} : \langle \text{если } \tilde{A}_1, \text{ то } r_{11} / \tilde{B}_1 \rangle; \\ \tilde{L}_{12} : \langle \text{если } \tilde{A}_2, \text{ то } r_{12} / \tilde{B}_2 \rangle; \\ \vdots \\ \tilde{L}_{nm} : \langle \text{если } \tilde{A}_n, \text{ то } r_{1m} / \tilde{B}_m \rangle, \end{cases} \quad (3)$$

где $r_{ij} \in [0, 1]$, $i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}$, – степень соответствия j -ой эталонной ситуации (высказывания $\tilde{B}_j$) i -ой входной ситуации (высказывание $\tilde{A}_i$); n, m – числа базовых значений лингвистических переменных (число входных и эталонных ситуаций).

3. Распознавание входной ситуации. Здесь входная ситуация сравнивается с эталонными и выявляется эталонная ситуация, которая может быть близка к входной. Для определения степени близости нечеткой входной ситуации $\tilde{S}_0$ нечеткой эталонной ситуации, как отмечалось выше, обычно применяют следующие меры близости: степень нечеткого равенства $\tilde{S}_0$ и нечеткой ситуации $\tilde{S}_i$; степень нечеткого включения $\tilde{S}_0$ в $\tilde{S}_i$; степень нечеткой общности $\tilde{S}_0$ и $\tilde{S}_i$.

Исследования [8] показали, что в ИСУ МР для идентификации входной ситуации наиболее эффективно в качестве меры близости применять степень нечеткого равенства, при этом в множество эталонных ситуаций не включаются плохо определенные ситуации. Здесь имеют место два возможных случая.

Первый случай. На вход ИСУ МР приходят ситуации $\tilde{S}_0$, которые относительно порога равенства t хорошо установлены. Тогда отношение нечеткого равенства на множестве $S_1 = S_S \cup S_0$ есть отношение нечеткой эквивалентности (S_0 – множество входных ситуаций). Причем число классов эквивалентности нечеткого разбиения множества S_1 совпадает с числом эталонных ситуаций, т. к. множество S_S не содержит нечетко равных ситуаций. Всякая эталонная ситуация $\tilde{S}_l \in S_S$ включена в класс эквивалентности $\tilde{A}_l$, который соответствует этой ситуации. Класс $\tilde{A}_l$, кроме $\tilde{S}_l$, содержит все входные ситуации из множества S_0 , нечетко равные $\tilde{S}_l$. Таким образом, всякая входная ситуация $\tilde{S}_0$ нечетко равна только одной эталонной ситуации $\tilde{S}_l \in S_S$. Она выявляется сравнением $\tilde{S}_0$ с каждой ситуацией $\tilde{S}_l \in S_S$ ($l \in I = \{1, 2, \dots, n\}$). Нечеткая ситуация $\tilde{S}_l$, для которой выполняется условие $\mu(\tilde{S}_0, \tilde{S}_l) \geq t$, считается равной ситуации $\tilde{S}_l$. Здесь t – некоторый порог нечеткого равенства ситуаций ($t \in [0, 6; 1]$). Если нечеткие значения соответствующих признаков в ситуациях $\tilde{S}_i$ и $\tilde{S}_0$ нечетко равны (исходя из определения нечеткого равенства нечетких множеств – $(\forall y \in Y)(\mu_{s_0}(y) \approx \mu_{s_i}(y))$), то $\tilde{S}_0 \approx \tilde{S}_i$. При этом $\mu(\tilde{S}_0, \tilde{S}_i) = \& \mu(\mu_{s_0}(y) \approx \mu_{s_i}(y))$.

Второй случай. Поступающие на вход ИСУ ситуации $\tilde{S}_0$ плохо определены. Тогда отношение нечеткого равенства на множестве S_1 есть отношение нечеткой толерантности. Как и в первом случае, количество классов связанного с ним нечеткого покрытия – n , любая нечеткая ситуация $\tilde{S}_l \in S_S$ соответствует классу покрытия $\tilde{A}_l$

множества S_1 . Но эти классы покрытия могут содержать нечетко непустые пересечения, состоящие из плохо определенных входных ситуаций множества S_0 . Отсюда следует, что плохо распознанная входная ситуация $\tilde{s}_0$, возможно, будет нечетко равной нескольким эталонным ситуациям. При этом допустимы два решения:

1) домерить входную ситуацию, т. е. конкретизировать плохо измеренные признаки. На первых этапах решения задачи не рассматриваются плохо определенные признаки входной ситуации $\tilde{s}_0$. Идентификация $\tilde{s}_0$ проводится на основе оценки признаков, хорошо определенных в этой ситуации. Необходимо учитывать, что уменьшение количества учтенных признаков ведет к увеличению количества типовых ситуаций, которые будут нечетко равны входной ситуации. Это позволяет увеличить вероятность включения типовой ситуации, которую нужно распознать, в совокупность ситуаций для распознавания.

На последующих этапах решения задачи количество типовых ситуаций, которые могут быть нечетко равны входной ситуации, будет сокращаться (в предельном случае до 1) за счет дополнительного измерения входной ситуации $\tilde{s}_0$, а точнее доизмерения признаков, которые плохо определены в $\tilde{s}_0$. Дальнейшие действия выполняются по первому варианту;

2) определить подмножество эталонных ситуаций S_s , которые будут нечетко равны $\tilde{s}_0$. Полагать ситуацию $\tilde{s}_i$, которая имеет максимальную степень равенства с $\tilde{s}_0$ ($\mu(\tilde{s}_0, \tilde{s}_i) =$

$$= \max_{\tilde{s} \in S_s^0} \mu(\tilde{s}_0, \tilde{s}_i)), \text{ наиболее близкой } \tilde{s}_0.$$

Определение степени нечеткого равенства ситуаций проводят на основании определения 2 по формуле (2). Если полученных ситуаций будет несколько, то решение по выбору той или иной ситуации, наиболее близкой к входной, принимают в зависимости от условий управления объектом.

4. Выдача информации о результатах идентификации входной ситуации в следующий блок ИСУ МР. Передается информация об эталонной нечеткой ситуации, наиболее близкой входной ситуации. Она поступает в ИСУ, где на основе решающей таблицы (форма задания соответствия между всеми возможными ситуациями и некоторым набором вариантов возможных решений задачи) определяются необходимые в данном состоянии объекта варианты решения. Например, как указывалось ранее, можно использовать модели нечеткого управления на основе алгоритма нечеткого вывода Мамдани, предложенные в [1].

Решение методического примера. Необходимо распознать и оценить текущую ситуацию для дальнейшего управления движением мобильного робота сельскохозяйственного назначения. Например, беспилотным трактором (трактором модели New Holland или другим подобным, например, МТЗ-82, [13, 14]) при выполнении полевых работ, в частности вспашке поля.

На основе данных, поступающих от подсистемы восприятия мобильного робота (функционально-структурная схема ИСУ МР предложена в [7]), проводится формирование нечетких ситуаций, которые представляют собой совокупность значений признаков, описывающих состояние объекта управления в определенный момент времени. Признаки представляют собой набор внутренних характеристик самого робота и характеристики внешних условий.

Постановка задачи. Управление беспилотным трактором-роботом при выполнении работ описывают тремя признаками:

y_1 – скорость движения (меняется от 4,5 до 9 км/ч с дискретностью 0,5 км/ч);

y_2 – расстояние до соседней борозды (от 0,1 до 1 м с дискретностью 0,1 м);

y_3 – расстояние до границы поля (меняется от 5 до 50 м с дискретностью 5 м). Данные по параметрам вспашки поля взяты из [15].

Пусть имеется каталог эталонных ситуаций $S_s = \{\tilde{s}_k\}$, где $\tilde{s}_k = \{\langle \mu_s(y_i)/y_i \rangle\}$, $y_i \in Y$ описывается лингвистической переменной $\langle y_i, T_i, D_i \rangle$ ($T_i = \{T_j^i\}$), где $\mu_s(y_i) = \{\langle \mu_{s(y_i)}(T_j^i)/T_j^i \rangle\}$, $j = \overline{1, m_i}$, $k = \overline{1, n}$, $i = \overline{1, p}$. При создании каталога определены следующие признаки ситуаций:

y_1 – скорость движения;

y_2 – расстояние до соседней борозды;

y_3 – расстояние до границы поля.

Заданы базовые множества:

$$D_1 = \{4.5; 5.0; 5.5; 6.0; 6.5; 7.0; 7.5; 8.0; 8.5; 9.0\}.$$

Скорость движения трактора по полю при вспашке может меняться от 4,5 км/ч до 9 км/ч через каждые 0,5 км/ч.

$$D_2 = \{0.1; 0.2; 0.3; 0.4; 0.5; 0.6; 0.7; 0.8; 0.9; 1.0\}.$$

Расстояние до соседней борозды может принимать значения от 0,1 до 1,0 м через 0,1 м.

$$D_3 = \{5; 10; 15; 20; 25; 30; 35; 40; 45; 50\}.$$

Расстояние до границы поля может принимать значения от 5 до 50 м с шагом 5 м.

Терм-множества $T_i = \{T_j^i\}$ определены следующим образом:

$T_1 = \{\text{очень высокая, высокая, средняя, низкая, очень низкая}\};$

$T_2 = \{\text{очень большое, большое, среднее, малое, очень малое}\};$

$T_3 = \{\text{очень большое, большое, среднее, малое, очень малое}\},$

где элементы T_j^i терм-множеств T_i заданы лингвистическими нечеткими множествами (в качестве

функций принадлежности взяты стандартные функции принадлежности, полученные в [16]):

для $i = 1$: ОЧЕНЬ НИЗКАЯ: $ОН = \{1, 0/4, 5; 0, 4/5, 0\}$;
 НИЗКАЯ: $Н = \{0, 4/5, 0; 1, 0/5, 5; 0, 5/6, 0\}$;
 СРЕДНЯЯ: $С = \{0, 4/6, 0; 0, 7/6, 5; 1, 0/7, 0; 0, 7/7, 5; 0, 4/8, 0\}$;
 ВЫСОКАЯ: $В = \{0, 5/8, 0; 1, 0/8, 5; 0, 5/9, 0\}$;
 ОЧЕНЬ ВЫСОКАЯ: $ОВ = \{0, 5/8, 5; 1, 0/9, 0\}$;
 для $i = 2$: ОЧЕНЬ БОЛЬШОЕ: $ОБ = \{0, 5/0, 9; 1, 0/1, 0\}$;
 БОЛЬШОЕ: $Б = \{0, 5/0, 7; 1, 0/0, 8; 0, 5/0, 9\}$;
 СРЕДНЕЕ: $С = \{0, 4/0, 3; 0, 7/0, 4; 1, 0/0, 5; 0, 7/0, 6; 0, 4/0, 7\}$;
 МАЛОЕ: $М = \{0, 4/0, 1; 1, 0/0, 2; 0, 5/0, 3\}$;
 ОЧЕНЬ МАЛОЕ: $ОМ = \{1, 0/0, 1; 0, 4/0, 2\}$.
 для $i = 3$: ОЧЕНЬ БОЛЬШОЕ: $ОБ = \{0, 5/45; 1, 0/50\}$;
 БОЛЬШОЕ: $Б = \{0, 5/35; 1, 0/40; 0, 5/45\}$;
 СРЕДНЕЕ: $С = \{0, 4/15; 0, 7/20; 1, 0/25; 0, 7/30; 0, 4/35\}$;
 МАЛОЕ: $М = \{0, 4/5; 1, 0/10; 0, 5/15\}$;
 ОЧЕНЬ МАЛОЕ: $ОМ = \{1, 0/5; 0, 4/10\}$.

Формальная постановка задачи. На основе входной информации y_i и каталога эталонных ситуаций $S_S = \{\tilde{s}_k\}$, $\tilde{s}_k = \{\langle \mu_{s_i}(y_i) / y_i \rangle\}$, $y_i \in Y$ идентифицировать входную ситуацию $\tilde{s}_0$: $\tilde{s}_0 \approx \tilde{s}_l$, $\tilde{s}_0 \in S_0$, $\tilde{s}_l \in S_S$, где $\mu_{s_i}(y_i) = \{\langle \mu_{T_j^i}(T_j^i) / T_j^i \rangle\}$

$j = \overline{1, m_i}$, $k = \overline{1, n}$, $i = \overline{1, p}$, при заданном пороге $t \geq 0,7$ и определить положение беспилотного трактора-робота на поле, соответствующее данной ситуации.

Решение задачи.

1. Пусть в каталоге имеется следующая эталонная ситуация $\tilde{s}_l \in S_S$, которая описывается следующим множеством:

$$\tilde{s}_l = \left\{ \langle \langle 0, 7 / T_1^1 \rangle, \langle 1, 0 / T_2^1 \rangle, \langle 0, 8 / T_3^1 \rangle, \langle 0, 4 / T_4^1 \rangle, \langle 0, 1 / T_5^1 \rangle / y_1 \rangle; \right. \\ \left. \langle \langle 0, 9 / T_1^2 \rangle, \langle 1, 0 / T_2^2 \rangle, \langle 0, 7 / T_3^2 \rangle, \langle 0, 2 / T_4^2 \rangle, \langle 0 / T_5^2 \rangle / y_2 \rangle; \right. \\ \left. \langle \langle 0, 4 / T_1^3 \rangle, \langle 1, 0 / T_2^3 \rangle, \langle 0, 8 / T_3^3 \rangle, \langle 0, 5 / T_4^3 \rangle, \langle 0, 2 / T_5^3 \rangle / y_3 \rangle \right\}.$$

2. Определена входная ситуация $\tilde{s}_0 \in S_0$, по входной информации y_i :

$$\tilde{s}_0 = \left\{ \langle \langle 0, 6 / T_1^1 \rangle, \langle 0, 9 / T_2^1 \rangle, \langle 1, 0 / T_3^1 \rangle, \langle 0, 5 / T_4^1 \rangle, \langle 0, 2 / T_5^1 \rangle / y_1 \rangle; \right. \\ \left. \langle \langle 0, 8 / T_1^2 \rangle, \langle 1, 0 / T_2^2 \rangle, \langle 0, 8 / T_3^2 \rangle, \langle 0, 3 / T_4^2 \rangle, \langle 0, 1 / T_5^2 \rangle / y_2 \rangle; \right. \\ \left. \langle \langle 0, 4 / T_1^3 \rangle, \langle 0, 9 / T_2^3 \rangle, \langle 1, 0 / T_3^3 \rangle, \langle 0, 6 / T_4^3 \rangle, \langle 0, 2 / T_5^3 \rangle / y_3 \rangle \right\}.$$

Данная ситуация приближенно соответствует следующему вербальному описанию: скорость движения трактора-робота – низкая; расстояние до соседней борозды скорее большее, чем среднее; расстояние до границы поля – среднее.

3. Для идентификации входной ситуации определим меру близости нечетких ситуаций. При определении нечеткого равенства двух ситуаций, как было определено ранее, в качестве меры близости используется $\mu(\tilde{s}_0, \tilde{s}_l) \geq t$.

$$\mu(\tilde{s}_0, \tilde{s}_l) = \bigwedge_{y_i \in Y} \mu(\mu_{s_0}(y_i), \mu_{s_l}(y_i)),$$

где $\mu(\mu_{s_0}(y_i), \mu_{s_l}(y_i)) = \bigwedge_{T_j^i \in T_i} c(\mu_{\mu_{s_0}(y_i)}(T_j^i), \mu_{\mu_{s_l}(y_i)}(T_j^i))$,

$$c(\mu_{\mu_{s_0}(y_i)}(T_j^i), \mu_{\mu_{s_l}(y_i)}(T_j^i)) = \begin{cases} \mu_{\mu_{s_0}(y_i)}(T_j^i) \leftrightarrow \mu_{\mu_{s_l}(y_i)}(T_j^i), & \text{если } \mu_{\mu_{s_0}(y_i)}(T_j^i) \notin (1-t, t) \text{ и} \\ \mu_{\mu_{s_l}(y_i)}(T_j^i) \notin (1-t, t); \\ 1, & \text{если } \mu_{\mu_{s_0}(y_i)}(T_j^i) \in (1-t, t) \text{ или } \mu_{\mu_{s_l}(y_i)}(T_j^i) \in (1-t, t). \end{cases}$$

для $i = 1$:

$$\begin{aligned} \mu(\mu_{s_0}(y_1), \mu_{s_l}(y_1)) &= c(\mu_{\mu_{s_0}(y_1)}(T_1^1), \mu_{\mu_{s_l}(y_1)}(T_1^1)) \wedge c(\mu_{\mu_{s_0}(y_1)}(T_2^1), \mu_{\mu_{s_l}(y_1)}(T_2^1)) \wedge \\ &\wedge c(\mu_{\mu_{s_0}(y_1)}(T_3^1), \mu_{\mu_{s_l}(y_1)}(T_3^1)) \wedge c(\mu_{\mu_{s_0}(y_1)}(T_4^1), \mu_{\mu_{s_l}(y_1)}(T_4^1)) \wedge c(\mu_{\mu_{s_0}(y_1)}(T_5^1), \mu_{\mu_{s_l}(y_1)}(T_5^1)) = \\ &= (1) \wedge (0,9 \leftrightarrow 1,0) \wedge (1,0 \leftrightarrow 0,8) \wedge (1) \wedge (1) = 0,8; \end{aligned}$$

для $i = 2$:

$$\begin{aligned} \mu(\mu_{s_0}(y_2), \mu_{s_l}(y_2)) &= c(\mu_{\mu_{s_0}(y_2)}(T_1^2), \mu_{\mu_{s_l}(y_2)}(T_1^2)) \wedge c(\mu_{\mu_{s_0}(y_2)}(T_2^2), \mu_{\mu_{s_l}(y_2)}(T_2^2)) \wedge \\ &\wedge c(\mu_{\mu_{s_0}(y_2)}(T_3^2), \mu_{\mu_{s_l}(y_2)}(T_3^2)) \wedge c(\mu_{\mu_{s_0}(y_2)}(T_4^2), \mu_{\mu_{s_l}(y_2)}(T_4^2)) \wedge c(\mu_{\mu_{s_0}(y_2)}(T_5^2), \mu_{\mu_{s_l}(y_2)}(T_5^2)) = \\ &= (0,8 \leftrightarrow 0,9) \wedge (1,0 \leftrightarrow 1,0) \wedge (0,8 \leftrightarrow 0,7) \wedge (1) \wedge (1) = 0,7; \end{aligned}$$

аналогично рассчитаем $\mu(\mu_{s_0}(y_3), \mu_{s_l}(y_3))$ для $I = 3$ и получим: $\mu(\mu_{s_0}(y_3), \mu_{s_l}(y_3)) = 0,8$.

Далее рассчитаем $\mu(\tilde{s}_0, \tilde{s}_l) = \min(0,8; 0,7; 0,8) = 0,7$.

4. Сравним $\mu(\tilde{s}_0, \tilde{s}_l)$ с заданным порогом t , т. к. $\mu(\tilde{s}_0, \tilde{s}_l) = t = 0,7$, то делаем вывод о том, что $\tilde{s}_0 \approx \tilde{s}_l$.

5. Выдача информации о результатах идентификации входной ситуации в следующий блок выбора варианта решения ИСУ, где на основе результатов распознавания определяется состояние, в котором находится беспилотный трактор-робот на поле, и производится выбор уровня ИСУ и процедуры решения задачи.

Вывод. Предложена методика распознавания нечетких ситуаций при управлении сельскохозяйственными мобильными роботами, которая позволяет распознавать и оценивать текущую ситуацию в сложных динамических усло-

виях, когда имеют место неполнота и неточность исходных данных. Ее применение позволит повысить эффективность управления сельскохозяйственными мобильными роботами в сложных условиях.

Методика основана на нечетком ситуационном управлении объектами, в основе которого лежит ситуационная модель управления «ситуация – действие», предложенная Пospelовым Д.А. Данная методика может быть реализована при проектировании программного обеспечения для управления мобильными роботами сельскохозяйственного назначения и мобильными интеллектуальными роботами, применяемых в других отраслях экономики.

Библиографический список

1. Кафиев, И.Р. К вопросу нечеткого управления электроприводами сельскохозяйственных интеллектуальных роботов [Электронный ресурс] / И.Р. Кафиев, П.С. Романов, И.П. Романова // Российский электронный научный журнал. 2017. № 4. Режим доступа: journal.bsau.ru/number4-2017.php. 12.12.2017.

2. Шаныгин, С.В. Роботы как средство механизации сельского хозяйства [Текст] / С.В. Шаныгин // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2013. № 3. С. 39–42.

3. Интеллектуальные роботы [Текст] / И.А. Каляев, В.М. Лохин, И.М. Макаров, С.В. Манько, М.П. Романов, Е.И. Юревич; под общ. ред. Е.И. Юревича. М.: Машиностроение, 2007. 360 с.

4. Костров, Б.В. Искусственный интеллект и робототехника [Текст] / Б.В. Костров, В.Н. Ручкин, В.А. Фулин. М.: Диалог-МИФИ, 2008. 224 с.

5. Линенко, А.В. Нечеткая система управления линейным электроприводом зерноочистительной машины [Текст] / А.В. Линенко,

М.Ф. Туктаров, В.Г. Байназаров // Достижения науки – агропромышленному производству: материалы LV Международной научно-технической конференции. Часть 3. Челябинск: Южно-Уральский государственный аграрный университет, 2016. С. 205–210.

6. Линенко, А.В. Нечеткий регулятор в системе управления линейным электроприводом зерноочистительной машины [Текст] / А.В. Линенко, М.Ф. Туктаров, Ш.Ф. Сираев, В.Г. Байназаров // Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2016. Т. 12. № 4. С. 34–40.

7. Романов, П.С. Подходы к созданию интеллектуальной системы управления мобильным роботом [Электронный ресурс] / П.С. Романов, И.П. Романова // Инженерный вестник Дона. 2018. № 1. Режим доступа: ivdon.ru/rumagazine/archive/n1y2018/4692.

8. Романов, П.С. Обоснование путей построения автоматизированных систем управления артиллерийскими формированиями на основе новых информационных технологий

[Текст] / П.С. Романов. Коломна: КГПИ, 2005. 398 с.

9. Мелихов, А.Н. Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой [Текст] / А.Н. Мелихов, Л.С. Берштейн, С.Я. Коровин. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1990. 272 с.

10. Поспелов, Д.А. Ситуационное управление: теория и практика [Текст] / Д.А. Поспелов. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986. 288 с.

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

12. Берштейн, Л.С. Нечеткий логический вывод на основе определения истинности нечеткого правила *modus ponens* [Текст] / Л.С. Берштейн, А.В. Боженюк // Методы и системы принятия решений. Системы, основанные на зна-

ниях: материалы науч. тр. Рига: Риж. политехн. ин-т, 1989. С. 74–80.

13. Самоходные тракторы от New Holland [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://bespilot.com/tip/bespilotnye-traktora>. 11.12.2018.

14. Иванов, А. Сельское хозяйство по-умному [Текст] / А. Иванов, В. Моисеев // Control Engineering. Россия IoT. Апрель 2017. С. 35–41.

15. Казаков, А.В. Технология проведения вспашки [Текст]: методическое пособие для учебной практики по подготовке трактористов-машинистов сельскохозяйственного производства / А.В. Казаков, В.Ю. Логинов, Д.В. Гутковский, А.Н. Кузьмичев. Н. Новгород: НГСХА, 2013. 59 с.

16. Борисов, А.Н. Методы интерактивной оценки решений [Текст] / А.Н. Борисов, А.С. Левченко. Рига: Зинатне, 1982. 232 с.

Сведения об авторах

1. **Кафиев Иршат Рашитович**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры электрических машин и электрооборудования, ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ, e-mail: kafiev02@mail.ru.

2. **Романов Петр Сергеевич**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры автоматизации производства и информационных технологий, Коломенский институт (филиал) ФГБОУ ВО «Московский политехнический университет», e-mail: romanov_p_s@mail.ru.

3. **Романова Ирина Петровна**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры виноделия и неорганической аналитической химии, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского (Первый казачий университет)», e-mail: i-p-romanova@yandex.ru.

4. **Галиуллин Рустам Рифович**, доктор технических наук, заведующий кафедрой электроснабжения и применения электрической энергии в сельском хозяйстве, ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ, 450001, г. Уфа, 50-летия Октября, 34, e-mail: rustam6274@mail.ru.

В статье предлагается методика распознавания нечетких текущих ситуаций при управлении сельскохозяйственными мобильными роботами, которая позволяет выявлять и оценивать текущую ситуацию в сложных динамических усло-

виях, когда имеют место неполнота и неточность исходных данных. Методика основана на нечетком ситуационном управлении объектами, в основе которого лежит ситуационная модель управления «ситуация – действие».

I. Kafiev, P. Romanov, I. Romanova, R. Galiullin

RECOGNITION METHODS OF FUZZY SITUATIONS TO MANAGE MOBILE ROBOTS IN FARMING

Key words: *mobile robot; agriculture; situation recognition; fuzzy situation; situational management.*

Authors' personal details

1. **Kafiev Irshat**, Candidate of technical sciences, assistant professor of the Electric Machines and Equipment department, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Bashkir State Agrarian University», Ufa, 50-letia Oktabria St., 34, e-mail: kafiev02@mail.ru.

2. **Romanov Petr**, Doctor of technical sciences, professor of the Production Automation and Information Technologies department, Kolomna Institute (branch) of «Moscow Polytechnical University», Moscow district, Kolomna, Oktyabr'skaya Revolutsia St., 408, e-mail: romanov_p_s@mail.ru.

3. **Romanova Irina**, Candidate of technical sciences, assistant professor of the «Winemaking and inorganic analytical chemistry» department, K.G. Razumovsky Moscow State University of technologies and management, 109004, Moscow, Zemlyanoj Val St., 73, e-mail: i-p-romanova@yandex.ru.

4. **Galiullin Rustam**, Doctor of Technical Sciences, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Bashkir State Agrarian University», 450001 Bashkortostan, Ufa, 50-letiya Oktyabrya St., 34, e-mail: rustam6274@mail.ru.

The paper offers a method to recognize current fuzzy situations in management of mobile robots in farming. It allows to understand and evaluate the current situation in complex dynamic conditions, when there is an incompleteness and inaccuracy of

the original data. The technique is based on fuzzy situational management of objects, which is based on the situational management model «situation – action».

© Кафиев И.Р., Романов П.С., Романова И.П.

УДК 631.348: 631.54

DOI: 10.31563/1684-7628-2019-51-3-114-120

Э.Р. Хасанов, Д.И. Маскулов, Р.З. Мусин

ОБОСНОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА РАБОТЫ СКАРИФИКАТОРА СЕМЯН КОЗЛЯТНИКА

Ключевые слова: *скарификация; скарификатор семян; всхожесть; вращающийся диск; степень скарификации; степень дробления.*

Введение. Важную роль при производстве бобовых культур имеет семенной материал, качество которого, наряду с другими параметрами, определяется всхожестью, на которой неблагоприятно отражается твердая, герметичная оболочка семян, приводящая к затягиванию сроков прорастания всходов, потере части высевных семян, снижению урожайности [1].

Нарушение герметичности оболочки семян различными способами в процессе подготовки семян к посеву называется скарификацией, а технические устройства, применяемые для данного процесса, – скарификаторами [2].

Кроме семян трав и кормовых культур, различные способы скарификации эффективны для сельскохозяйственных культур – пшеница, овес, ячмень, горох, лук, морковь, шпинат, редис, свекла, петрушка, капуста, томат, кинза, укроп, а также для семян лесных культур [3].

К применяемым на практике способам скарификации семян перед посевом относятся: механическая (физическое воздействие); химическая (обработка кислотой); термическая (прогревание и промораживание). В России и за рубежом существуют различные точки зрения на

эффективность и преимущества того или иного способа скарификации.

Ученые Bichoff R.S., de Albuquerque A.N., Mariano D.C. [4] провели полностью рандомизированные исследования с четырьмя повторностями в Бразилии с древесным бобом, скарифицируя его наждачной бумагой (механическая скарификация), погружением в концентрированную H_2SO_4 (химическая) и в горячую воду (термическая) в интервале времени 5...20 мин с шагом 5 мин. Наиболее эффективной обработкой в их случае оказалась химическая (20 мин обработки с прорастанием 93,0 % жизнеспособных семян), наименьшую эффективность показала термическая обработка. К тем же выводам пришли чешские исследователи [5] при скарификации бобовой культуры *muscupreta* и ученые [6], проводившие скарификацию для бобовых культур в условиях Аравийской пустыни в Катаре.

В свою очередь аргентинские исследователи [7], проводившие эксперименты с бобовыми культурами, установили, что наибольшую эффективность на вид *T. subterraneum* имеет термическая обработка.