

Разработка вспомогательной подсистемы мультиагентной роботизированной системы посева сельскохозяйственных культур

В.В. Куцеев, Д.А. Дмитриев, А.А. Меркулов

*Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина,
Краснодар*

Аннотация: В статье описана разработанная вспомогательная подсистема мультиагентной роботизированной системы посева сельскохозяйственных культур, включающая автономных роботов, функционирующих в составе группы. Автономный робот выполнен из полимерного геля и обладает свойствами квазижидкого тела. Определены параметры автономного робота, приведены результаты экспериментальных исследований взаимодействия автономных роботов с рабочими жидкостями на примере дождевой воды.

Ключевые слова: посев, рабочая жидкость, роботизированная подсистема, автономный робот, полимерный гидрогель, квазижидкое тело.

Генеральной тенденцией современного сельскохозяйственного производства является роботизация отдельных технологических процессов и машинных технологий. Рассматривая технологический процесс посева сельскохозяйственных культур, отметим, что его совершенствуют путем роботизации [1].

В сфере роботизации процессов разрабатывают мультиагентные вычислительные системы, включающие интеллектуальных агентов, которыми является все, что может рассматриваться как воспринимающее свою среду с помощью датчиков [2-5], и роевой интеллект [6]. Эти работы использованы нами в разрабатываемой мультиагентной роботизированной системе посева сельскохозяйственных культур [7], превосходящей по производительности современные высокопроизводительные посевные комплексы. Разрабатываемая мультиагентная роботизированная система включает основную подсистему и вспомогательные подсистемы. Основная подсистема обеспечивает выполнение технологической операции – посев семян, а вспомогательные подсистемы – другие технологические операции,

совмещенные с посевом, например, внесение в почву гранулированных удобрений или рабочих жидкостей – растворов гербицидов. Основная подсистема включает мобильные роботы, автономно функционирующие в составе группы. Мобильный робот состоит из интеллектуального агента и рабочего агента, функционирующих совместно. Рабочий агент, выполняя технологические функции, воздействует на внешнюю среду с помощью исполнительных механизмов, в том числе в варианте, исключающем использование программного обеспечения интеллектуального агента и запоминания информации, реактивно реагируя только с помощью датчиков.

Рассматриваемая вспомогательная подсистема обеспечивает групповое функционирование простейшего по конструкции автономного робота. В его конструкции отсутствует интеллектуальный агент, а рабочий агент узкоспециализирован, прост по конструкции, и как следствие, обладает высокой надежностью. Эта разрабатываемая нами тенденция в роботостроении является противоположностью другой тенденции, в которой разрабатывают антропоморфных роботов как цифровых двойников биологического вида Homo Sapiens, пытаясь имитировать человеческие интуицию, озарение и даже гипноз [8, 9].

Рассматриваемая вспомогательная подсистема предназначена для реализации в растениеводстве подхода, при котором получают не максимально возможный урожай сельскохозяйственной культуры, а заданный [10]. Отсюда цель исследования – совершенствование управления адаптивностью и продуктивностью сельскохозяйственных растений путем воздействия на ценоз рабочими жидкостями.

При разработке рассматриваемой подсистемы использовали бионический подход. Известно, что рукотворные бионические системы имитируют живые организмы окружающей природной среды, позволяя создавать новые технические решения, в нашем случае, в робототехнике.

Есть сельскохозяйственная однолетняя зернобобовая культура гуар или циамопсис [*Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub.] [11]. Она засухоустойчива. Зерно гуара содержит ценный компонент – гуаровую камедь. Одно из ее свойств заключается в том, что даже в малых количествах с добавлением холодной воды гуаровая камедь образует гель. Это позволяет растущему растению удерживать дождевую воду в своей корневой зоне (рис. 1).

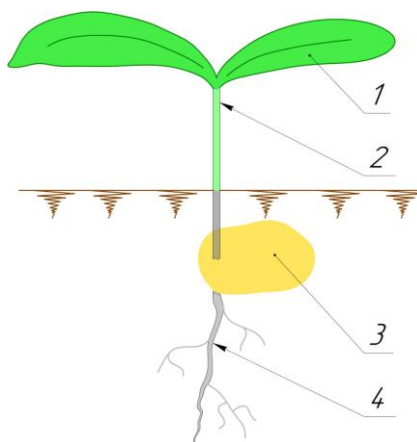


Рис. 1. – Схема растения гуара после всходов

1 – листья; 2 – стебель; 3 – гуаровая камедь; 4 – корень

Затем обратились к микробиологии. Некоторые виды бактерий обладают способностью оставлять "химический след". Это позволяет им взаимодействовать только с неисследованными участками того или иного материала. Кроме того, бактерии способны адаптироваться в окружающей среде и конкурировать с другими видами бактерий. Это позволяет предположить, что бактерии обладают примитивной формой интеллекта, а именно примитивным роевым интеллектом. Его особенность в ограниченности функциональных возможностей при том, что биологические механизмы решают сложные задачи.

Мы использовали два вышеуказанных «природных прототипа». В качестве аналога гуаровой камеди использовали полимерный гидрогель [12],

имеющий упорядоченную систему пор, позволяющих поглощать и задерживать известное количество жидкости. Разработанная подсистема мультиагентной роботизированной системы включает рабочие агенты-ампулы из полимерного гидрогеля (рис. 2) и дозатор ампул, которым является высеваящий аппарат сеялки. Ампулы вносят в почву одновременно с посевом. Для этого их предварительно смешивают с семенами. В этом случае они дополнительно играют роль балласта. В другом варианте высеваящий аппарат вносит в почву только ампулы, выполняя функцию дозатора ампул. В следующем варианте предварительно ампулы заполняют водой или иной рабочей жидкостью и вносят в агроценоз, совмещая с посевом или на последующих стадиях вегетации растений. Для внесения ампул в агроценоз на разных стадиях вегетации растений удобно использовать летающий высеваящий аппарат [13-15], разработка которого расширила ассортимент сельскохозяйственных машин.

Для ампулы выбрали форму шара из-за его свойств. Сферическая форма проста в изготовлении. Известно также, что капля жидкости в состоянии невесомости принимает сферическую форму, что соответствует минимальной площади поверхности при заданном объеме жидкости. Исходя из размерной характеристики семян люцерны, выбрали диаметр ампул из полимерного гидрогеля равным $2,2 \pm 0,05$ мм (рис. 2). Экспериментально определили, что среднеарифметическое значение диаметров ампул, полностью заполненных рабочей жидкостью равно 10,5 мм (рис. 3).

Заполненная ампула включает рабочую жидкость, «связанную» полимерным гидрогелем, а на ее сферической поверхности образуется неразрывная оболочка из рабочей жидкости – тонкий наноструктурный слой (рис. 4).



Рис. 2. – Общий вид ампул без рабочего раствора



Рис. 3. – Общий вид ампул, заполненных рабочей жидкостью

Ампулы, заполненные рабочей жидкостью, растекаются по поверхности плоскости, образуя на ней один слой. Это случай, когда угол естественного откоса равен нулю. Проявляется свойство жидкости. Эти же ампулы имеют предел текучести [12], под воздействием деформации сжатия после превышения допускаемых напряжений разрушаются как жестко-пластическое твердое тело. Таким образом, разрабатываемая ампула, являющаяся объектом исследования, обладает одновременно свойствами жидкости и твердого тела. Будем рассматривать ее как квазижидкое тело.

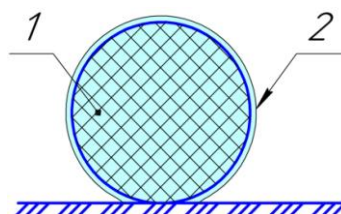


Рис. 4. – Схема ампулы-квазижидкого тела

1 – «связанная» рабочая жидкость; 2 – оболочка рабочей жидкости

При выделении из ампулы рабочей жидкости частично эта жидкость переходит в газообразную фазу (испаряется), происходит фазовый переход.

Рассматриваемый технологический процесс включает трение квазижидкого тела и взаимодействие полимерного геля с жидкостью. Экспериментально были изучены элементы процесса трения разработанной ампулы как квазижидкого тела и процесс перемещения жидкости, связанной полимерным гелем.

Экспериментально определили угол естественного откоса для ампул без рабочей жидкости (рис. 5) и ампул, заполненных рабочим раствором (рис.6). Также был определен угол трения качения для ампул, заполненных рабочей жидкостью, и ампул без жидкости; выявлен угол трения скольжения для ампул, заполненных рабочей жидкостью, и ампул без нее. Опыты провели в 15-кратной повторности. Полученные экспериментальные данные обработали методом математической статистики [16].

Обозначив ошибку выборочной средней как S_x , точечную оценку генеральной средней x , записали в виде $x \pm S_x$. Тогда показатели угла естественного откоса для ампул без рабочей жидкости при насыпании равны $x \pm S_x = 14,8 \pm 0,2$ мм, а при обрушении равны $x \pm S_x = 16,9 \pm 0,2$ мм. Ампулы, заполненные рабочим раствором, проявляют свойства жидкости, раскатываясь по плоской поверхности, принимая вид квазижидкого слоя с углом естественного откоса равным нулю (рис. 6).

Угол трения качения ампул без рабочего раствора по поверхности из пластмассы равен $x \pm S_x = 6,6 \pm 0,2$ мм, а по поверхности из стали равен $x \pm S_x = 5,7 \pm 0,2$ мм. Угол трения качения ампул, заполненных рабочим раствором, по поверхности из пластмассы равен $x \pm S_x = 3,4 \pm 0,1$ мм, а по поверхности из стали равен $x \pm S_x = 2,6 \pm 0,1$ мм.

Угол трения скольжения ампул без рабочего раствора по поверхности из пластмассы равен $x \pm S_x = 19,9 \pm 0,7$ мм, а этот угол по поверхности из стали равен $x \pm S_x = 25,5 \pm 0,6$ мм. Угол трения скольжения ампул, заполненных рабочим раствором, по поверхности из пластмассы равен $x \pm S_x = 5,7 \pm 0,2$ мм, а по поверхности из стали равен $x \pm S_x = 9,3 \pm 0,2$ мм.



Рис. 5. – Откос в покое ампул из гидрогеля без рабочего раствора



Рис. 6. – Откос в покое ампул из гидрогеля, заполненных рабочим раствором

Процесс функционирования ампул заключается в поглощении и выделении жидкости полимерным гелем. При экспериментальном определении зависимостей взаимодействия жидкости и ампул из полимерного геля в качестве жидкости использовали дождевую воду,

фиксировали время опыта и диаметр ампул. Опыты провели в 25-кратной повторности. Полученные экспериментальные данные обработали методом математической статистики [16]. Зависимости диаметра ампулы от продолжительности опыта аппроксимированы степенными функциями – полиномами третьей и шестой степеней при соответствующих коэффициентах детерминации R^2 , что проиллюстрировано на рис. 7-9.

Опыт по изучению первоначального заполнения ампулы водой длился 10 часов, замеры ампул проводились каждый час. Замеряли диаметр ампул и их массу. Замеры выполняли с помощью штангенциркуля с ценой деления измерительной шкалы 0,1 мм и электронных весов ViBRA, имеющих цену деления 0,0001 г. Для удобства расчетов воспользовались миллиметрами и граммами – дольными единицами измерения Международной системы измерений (СИ).

Из графика (рис. 7) следует, что диаметр ампул интенсивно увеличивается первые три часа, а полное заполнение ампул наступает через 4,5 часа продолжительности погружения их в воду.

Опыт по изучению первоначального выделения из ампулы воды длился 72 часа, замеры ампул проводились каждые 24 часа. Ампулы, заполненные водой, помещали на плоскую поверхность в комнате при температуре 25°C. Во время опыта ампулы не подвергались воздействию прямых солнечных лучей и ветра. Вода полностью выделилась из ампул за 48 часов продолжительности опыта (рис. 8).

Опыт по изучению повторного заполнения ампул водой длился 4,5 часа, замеры параметров ампул проводились каждые 0,5 час (рис. 9).

При повторном заполнении ампул водой их полное заполнение наступает через 4,5 часа продолжительности погружения ампул в воду, то есть, за то же время, что и при первоначальном заполнении ампулы водой.

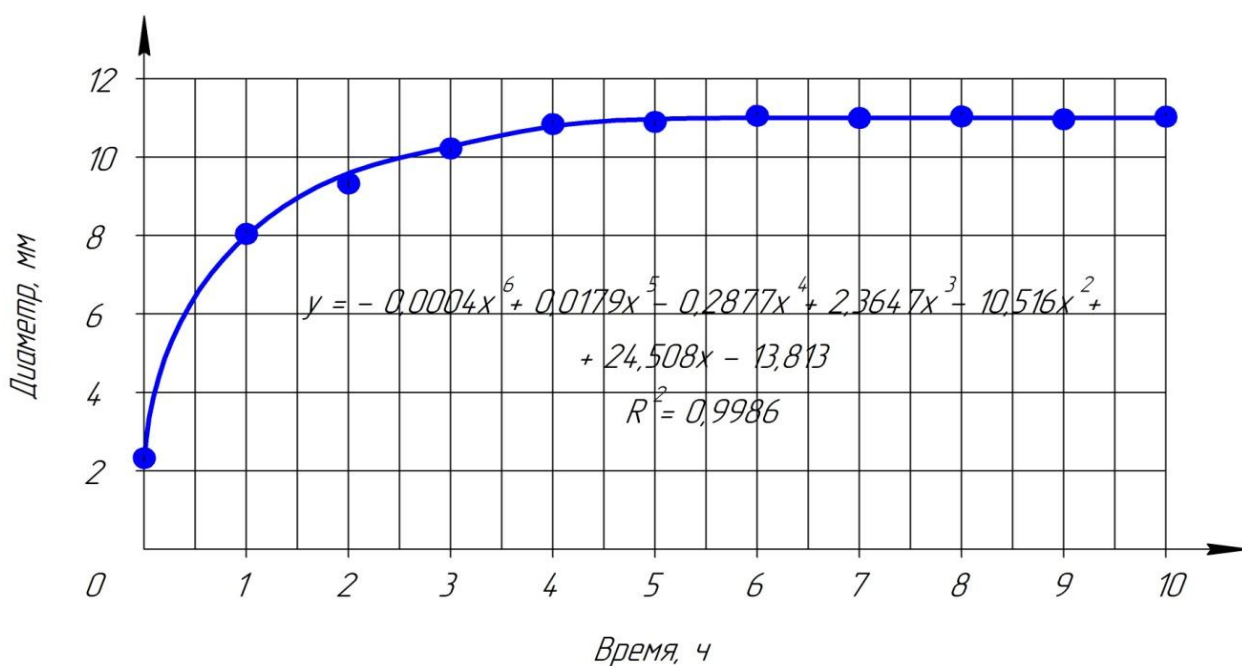


Рис. 7. – Зависимость диаметра ампулы от продолжительности ее погружения в воду при первоначальном заполнении ампулы водой

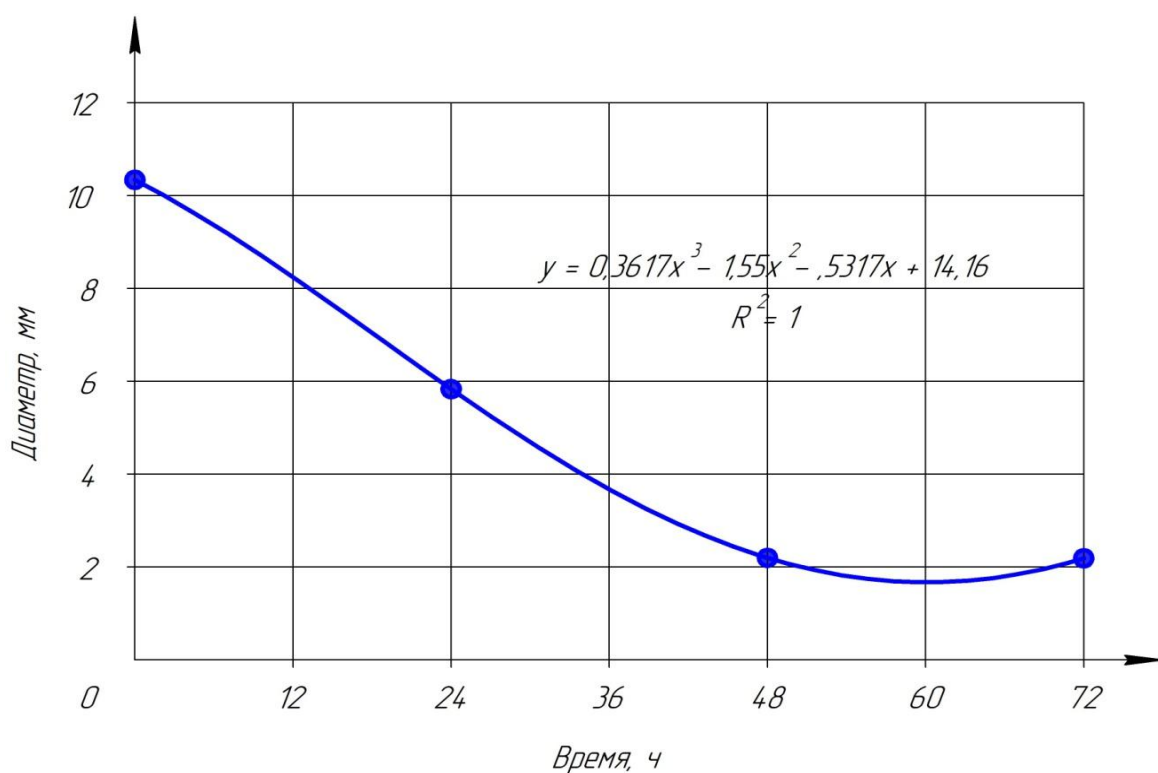


Рис. 8. – Зависимость диаметра ампулы от продолжительности ее погружения в воду при первоначальном выделении воды из ампулы

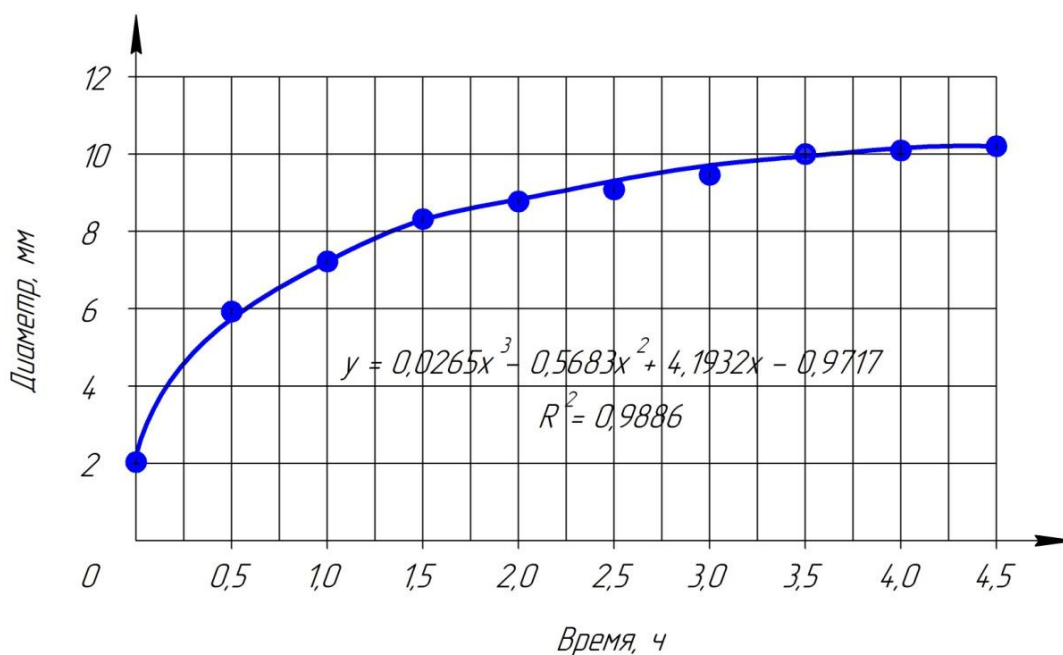


Рис. 9. – Зависимость диаметра ампулы от продолжительности ее погружения в воду при повторном заполнении ампулы водой

Выводы

Анализ полученных результатов показал, что для полного заполнения дождевой водой ампулы из полимерного геля в форме шара диаметром 2,2 мм необходимо затратить 4,5 часа, а при температуре воздуха 25⁰ вода полностью выделяется в течении 48 часов. Ампула из полимерного геля может быть использована в качестве автономного робота с функцией гидроаккумулятора и возобновляемого источника влаги.

Простой по конструкции автономный робот реактивно реагирует на температуру воздуха в агроценозе, на содержание влаги в воздухе и дождевые осадки, и может быть использован для аккумуляирования дождевой воды в корневой зоне растений и влияния на микроклимат в агроценозе.

Заданное количество автономных роботов в виде ампул из полимерного геля, дополненное их дозатором, в качестве которого может быть использована серийная сеялка или дозатор сыпучих материалов

специальной конструкции, входит во вспомогательную подсистему мультиагентной роботизированной системы посева.

Работа выполнена при финансовой поддержке Фонда содействия инновациям (Договор № 15864ГУ/2020).

Литература

1. Лавров А.В. К вопросу разработки интеллектуальной технологии высева семенного материала // Инженерный вестник Дона, 2018, № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5329.
2. Yong-Zheng Sun, Jiong Ruan. Leader-follower consensus problems of multi-agent systems with noise perturbation and time delays // Chinese Physics Letters. 2008. Vol. 25. №. 9. pp. 3493.
3. Chen Yao et al. Multi-agent systems with dynamical topologies: Consensus and applications // IEEE circuits and systems magazine. 2013. Vol. 13. №. 3. pp. 21-34.
4. Амелина Н.О. Мультиагентные технологии, адаптация, самоорганизация, достижение консенсуса // Стохастическая оптимизация в информатике. 2011. Т. 7. № 1. С. 149-185.
5. Подсвилов В.Н. Особенности создания встроенного контекстно-доопределяемого языка для интеллектуальных обучающихся агентов (предсказание потребления ресурсов в сфере ЖКХ) // Инженерный вестник Дона, 2018, № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/5302.
6. Водолазский И.А., Егоров А.С., Краснов А.В. Роевой интеллект и его наиболее распространенные методы реализации // Молодой ученый. 2017. № 4 (138). С. 147-153. URL: moluch.ru/archive/138/38900/.
7. Дмитриев Д.А., Куцеев В.В. Машинный широкозахватный посевной роботизированный комплекс // 74-я научно-практическая

конференция студентов по итогам НИР за 2018 год «Научное обеспечение агропромышленного комплекса». Краснодар: КубГАУ, 2019. С. 332-334.

8. Фиговский О.Л., Пенский О.Г. Математические модели гипноза роботов // Инженерный вестник Дона, 2020, № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2020/6409.

9. Фиговский О.Л., Пенский О.Г. Математические модели и алгоритмы интуиции, озарения и гипноза роботов // Инженерный вестник Дона, 2020, № 5. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2020/6426.

10. Пат. 2246197 Российская Федерация, МПК А 01 С 21/00, А 01 G 7/00. Способ управления адаптивностью и продуктивностью растений. Трубилин Е.И., Бурдун А.М., Куцеев В.В., Борисова С.М.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО КубГАУ. № 2003122809/12; заявл. 21.07.2003; опубл. 20.02.2005, Бюл. № 5.

11. Лебедь Д.В., Костенкова Е.В., Волошин М.И. Агрономическое обоснование размещения посевов *Cyatopsis tetragonoloba* (L.) на юге европейской части России // Таврический вестник аграрной науки. 2017. № 1(9). С. 53-64.

12. Роговина Л.З., Васильев В.Г., Браудо Е.Е. К определению понятия «полимерный гель» // Высокомолекулярные соединения. Серия С. 2008. Т. 50. № 7. С. 1397-1406.

13. Пат. 167073 Российская Федерация, МПК В 64 D 1/16, А 01 С 7/08. Летающий высевальной аппарат. Куцеев В.В., Голицын А.А.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО КубГАУ. № 2016131112/11; заявл. 27.07.2016; опубл. 20.12.2016, Бюл. № 35.

14. Пат. 196779 Российская Федерация, МПК А 01 С 7/10. Летающий высевальной аппарат. Куцеев В.В., Дмитриев Д.А.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО КубГАУ. № 2019138665; заявл. 28.11.2019; опубл. 16.03.2020, Бюл. № 8.

15. Куцеев В.В., Меркулов А.А. Многофункциональный сельскохозяйственный беспилотный летательный аппарат // Международная научно-практическая конференция «Инженерное обеспечение инновационных технологий в АПК». Мичуринск: Мичуринский ГАУ, 2018. С. 258-262.

16. Доспехов Б.Ф. Методика полевого эксперимента (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.

References

1. Lavrov A.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2018, № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2345.

2. Yong-Zheng Sun, Jiong Ruan. Chinese Physics Letters. 2008. Vol. 25. №. 9. pp. 3493.

3. Chen Yao et al. IEEE circuits and systems magazine. 2013. Vol. 13. № 3. pp. 21-34.

4. Amelina N. O. Stokhasticheskaya optimizatsiya v informatike. 2011. Vol. 7. № 1. pp. 149-185.

5. Podsvirov V.N. Inzhenernyj vestnik Dona, 2018, № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/5302

6. Vodolazskiy I.A., Egorov A.S., Krasnov A.V. Molodoy uchenyy. 2017. № 4 (138). pp.147-153. URL: moluch.ru/archive/138/38900/.

7. Dmitriev D.A., Kutseev V.V. 74-ya nauchno-prakticheskaya konferentsiya studentov po itogam NIR za 2018 god «Nauchnoe obespechenie agropromyshlennogo kompleksa». Krasnodar: KubGAU, 2019. pp. 332-334.

8. Figovskiy O.L., Penskiy O.G. Inzhenernyj vestnik Dona, 2020, № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/ny2020/6409.

9. Figovskiy O.L., Penskiy O.G. Inzhenernyj vestnik Dona, 2018, № 5. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2020/6426.

10. Pat. 2246197 Rossiyskaya Federatsiya, MPK A 01 C 21/00, A 01 G 7/00. Sposob upravleniya adaptivnost'yu i produktivnost'yu rasteniy. [A method for managing the adaptability and productivity of plants]. Trubilin E.I., Burdun A.M., Kutseev V.V., Borisova S.M.; zayavitel' i patentoobladatel' FGBOU VO KubGAU. № 2003122809/12; zayavl. 21.07.2003; opubl. 20.02.2005, Byul. № 5.

11. Lebed' D.V., Kostenkova E.V., Voloshin M.I. Tavricheskiy vestnik agrarnoy nauki. 2017. № 1(9). pp. 53-64.

12. Rogovina L.Z., Vasil'ev V.G., Braudo E.E. Vysokomolekulyarnye soedineniya. Seriya S. 2008. T. 50. № 7. pp. 1397-1406.

13. Pat. 167073 Rossiyskaya Federatsiya, MPK B 64 D 1/16, A 01 C 7/08. Letayushchiy vysewayushchiy apparat. [Flying seeder]. Kutseev V.V., Golitsyn A.A.; zayavitel' i patentoobladatel' FGBOU VO KubGAU. № 2016131112/11; zayavl. 27.07.2016; opubl. 20.12.2016, Byul. № 35.

14. Pat. 196779 Rossiyskaya Federatsiya, MPK A 01 C 7/10. Letayushchiy vysewayushchiy apparat. [Flying seeder]. Kutseev V.V., Dmitriev D.A.; zayavitel' i patentoobladatel' FGBOU VO KubGAU. № 2019138665; zayavl. 28.11.2019; opubl. 16.03.2020, Byul. № 8.

15. Kutseev V.V., Merkulov A.A. Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya «Inzhenernoe obespechenie innovatsionnykh tekhnologiy v APK». Michurinsk: Michurinskiy GAU, 2018. pp. 258-262.

16. Dospekhov B.F. Metodika polevogo eksperimenta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy) [Field experiment technique (with the basics of statistical processing of research results)]. M.: Agropromizdat, 1985. 351p.