

14. Pustovaya O. A., Pustovoy E. A., Usanov V. S., et al. (2024). Evaluation of the operation of the fan of the combine harvester air-and-screen cleaning system when using an asynchronous electric motor as a drive. BIO Web of Conferences. 108: 22004. – DOI 10.1051/bioconf/202410822004.

15. Martynenko, D. S. Povyshenie effektivnosti sistemy ochistki zernouborochnogo kombayna putem primeneniya rekuperativnogo privoda reshet i transportnoy doski: spetsialnost 05.20.01 "Tekhnologii i sredstva mekhanizatsii selskogo khozyaystva": dissertatsiya na soiskanie uchenoy

stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk / Martynenko Dmitry Sergeevich, 2015. – 170 s.

16. Kozlova L.V. Povyshenie effektivnosti ispolzovaniya kombaynov v zone Dalnego Vostoka za schet ratsionalnogo sochetaniya kolesnykh i gusenichnykh mashin (na primere Amurskoy oblasti): spetsialnost 05.20.03 "Ekspluatatsiya, vostanovlenie i remont selskokhozyaystvennoy tekhniki" dissertatsiya na soiskanie uchenoy stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk. – Sankt-Peterburg, 1992. – 127 s.



УДК 621.316

DOI: 10.53083/1996-4277-2026-262-8-80-86

З.Р. Юлмухаметов, Р.Р. Галиуллин

Z.R. Yulmukhametov, R.R. Galiullin

К ВОПРОСУ СОЗДАНИЯ БЮДЖЕТНОГО АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ВОЖДЕНИЯ МАШИННО-ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТА

DEVELOPMENT OF AFFORDABLE HARDWARE-SOFTWARE COMPLEX FOR PARALLEL DRIVING OF A MACHINE-TRACTOR UNIT

Ключевые слова: аппаратно-программный комплекс, планшет, спутниковый приемник, корректировка, низкая относительная погрешность, машинно-тракторный агрегат, система параллельного вождения, точное земледелие, GNSS, электронный компас, акселерометр.

Представлены результаты разработки и апробации экономичного отечественного аппаратно-программного комплекса, предназначенного для автоматизации процесса параллельного движения машинно-тракторных агрегатов в условиях точного земледелия. Актуальность обусловлена стратегической задачей импортозамещения и необходимостью обеспечения отечественных сельхозпредприятий доступными по цене средствами автоматизации. В основе комплекса лежит планшетный компьютер со встроенными инерциальными датчиками и магнитометром, интегрированный с многочастотным спутниковым приемником GPS/ГЛОНАСС и блоком управления. Разработан алгоритм компенсации погрешностей позиционирования, возникающих при поперечных и продольных кренах агрегата на неровностях почвенного покрова, что позволило достичь субдециметровой точности определения местоположения (погрешность не превышает 0,1 м). Проведенный комплекс натурных экспериментов включал испытания на тракторной технике MT3-82 и John Deere, а также на самоходном разбрасывателе удобрений

«Туман-2» с параллельной записью треков штатной системой TeeJet Matrix Pro 570GS. Установлено функциональное соответствие отечественной разработки импортному аналогу по показателям выработки (обработанная площадь 16,06 га за 20 мин. 51 с и 31,87 га за 20 мин. 11 с) при значительно большей устойчивости к внешним помехам. Выявлено, что при ручном управлении по курсоуказателю возможны отклонения до 30-40 см, для устранения которых целесообразно применение автоматического подруливающего устройства. Себестоимость созданного комплекса в несколько раз ниже зарубежных образцов при сопоставимых технических характеристиках. Дополнительно подтверждено, что внедрение комплекса позволяет сократить перекрытия и пропуски на 15-25%, повысить производительность полевых работ на 13-20% и обеспечить круглосуточный режим использования техники.

Keywords: hardware and software complex, tablet PC, satellite receiver, adjustment, low relative error, machine-tractor unit, parallel driving system, precision agriculture, Global Navigation Satellite System (GNSS), electronic compass, accelerometer.

The results of development and testing of an economical domestic hardware-software complex designed to automate the process of parallel movement of machine-tractor units under precision agriculture conditions

are discussed. The relevance is due to the strategic task of import substitution and the need to provide domestic agricultural enterprises with affordable automation tools. The complex is based on a tablet computer with built-in inertial sensors and a magnetometer, integrated with a multi-frequency GPS/GLONASS satellite receiver and a control unit. An algorithm for compensating positioning errors arising during transverse and longitudinal rolls of the unit on soil surface irregularities was developed which made it possible to achieve sub-decimeter accuracy of location determination (error did not exceed 0.1 m). The conducted field experiments included tests on MTZ-82 and John Deere tractor equipment as well as on

the self-propelled fertilizer spreader Tuman-2 with parallel track recording by the standard TeeJet Matrix Pro 570GS system. Functional compliance of the domestic development with the imported analogue was achieved in terms of performance indices (tilled area 16.06 ha in 20 min 51 s and 31.87 ha in 20 min 11 s) with significantly greater resistance to external interference. It was found that with manual control using a direction indicator, deviations of up to 30–40 cm were possible; to eliminate them it was advisable to use an automatic steering device. The cost of the developed complex is several times lower than foreign alternatives with comparable technical characteristics.

Юлмухаметов Загир Ришатович, аспирант, ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ, г. Уфа, Российская Федерация, e-mail: ylmuck@gmail.com.

Галиуллин Рустам Рифович, д.т.н., профессор, ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ, г. Уфа, Российская Федерация, SPIN-код: 5661-1922, AuthorID: 294207, e-mail: rustam6274@mail.ru.

Yulmukhametov Zagir Rishatovich, post-graduate student, Bashkir State Agricultural University, Ufa, Russian Federation, e-mail: ylmuck@gmail.com.

Galiullin Rustam Rifovich, Dr. Tech. Sci., Prof., Bashkir State Agricultural University, Ufa, Russian Federation, e-mail: rustam6274@mail.ru.

Введение

Современное сельскохозяйственное производство характеризуется ускоренным внедрением цифровых технологий, среди которых системы автоматизированного управления движением мобильных агрегатов занимают ключевое место. Глобальная тенденция развития точного земледелия предполагает использование интегрированных вычислительно-навигационных платформ, обеспечивающих геопозиционирование с высокой степенью достоверности [1-6].

Зарубежные производители, включая корпорации Trimble, Teejet и Mullerelectronik, реализуют комплексные решения с многофункциональными сенсорными блоками (вибромониторинг, инклинометрическая коррекция, цифровой магнитный компас и др.), достигающие точности позиционирования порядка 2,5 см. Однако стоимость подобных систем превышает 1,5 млн руб. за комплект для одного трактора, что делает их недоступными для подавляющего большинства хозяйств среднего и малого звена [7-10].

Отечественные разработчики предлагают альтернативные варианты в ценовом диапазоне 70-130 тыс. руб. [11-15]. Достижение такой экономичности обеспечивается за счет минимизации аппаратной составляющей – исключения вибродатчиков, модулей коррекции углового положения, электронных компасов. Подобная упрощенность негативно сказывается на достоверности координат при эксплуатации техники на перекошенных участках и приводит к искаже-

нию траектории при реверсивном движении. Первый недостаток частично нивелируется размещением антенны на капоте, однако второй требует калибровки при каждом запуске программного обеспечения.

Интеграция в состав комплекса планшетных устройств, оснащенных микроэлектромеханическими датчиками угловых отклонений и трехосевыми магнитометрами, позволяет устранить указанные ограничения без существенного повышения итоговой стоимости изделия.

Целью научного исследования является повышение метрологических характеристик аппаратно-программного комплекса для параллельного вождения путем введения алгоритмической коррекции спутниковых координат.

Для достижения сформулированной цели решены следующие **задачи**:

- спроектировать экономичный вариант комплекса с использованием серийно выпускаемых планшетных устройств, содержащих модули ориентации и линейного ускорения;
- провести экспериментальную верификацию работоспособности системы в реальных производственных условиях.

Объекты и методы исследования

В рамках научно-исследовательской работы коллектива кафедры электроснабжения и электротехнологий в сельском хозяйстве Башкирского ГАУ разработан прототип аппаратно-программного комплекса на базе планшета с

MEMS-сенсорами крена и электронным магнитным компасом. Упрощенная функциональная схема представлена на рисунке 1.

Программно-аппаратная платформа построена на операционной системе Android и включает: планшетное устройство, приемный модуль спутниковых навигационных систем GPS/ГЛОНАСС с активной антенной, микропроцессорный контроллер дозирования минеральных удобрений. Предусмотрена опциональная

возможность подключения сервопривода рулевого управления для повышения точности удержания заданного азимута.

Геопространственные данные агрегата, поступающие от интеллектуальной антенны (рис. 1 поз. 1), при угловых отклонениях трактора (рис. 2 угол α) подвергаются вторичной обработке в вычислительном модуле по оригинальному алгоритму с использованием сигналов сенсоров 4-6.

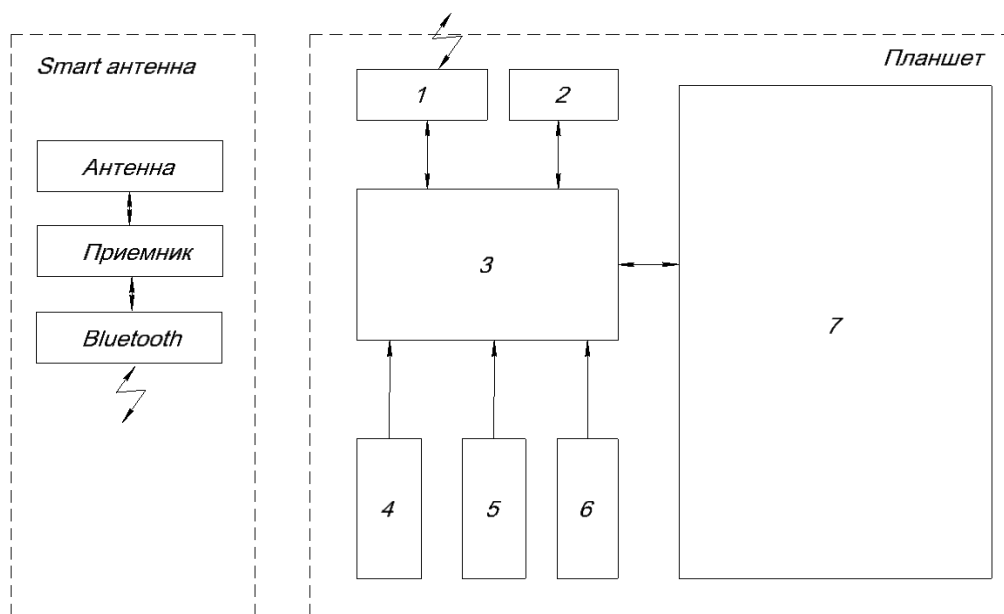


Рис. 1. Упрощённая функциональная схема АПК для системы параллельного вождения машинно-тракторного агрегата:
1 и 2 – Bluetooth и GSM модули; 3 – процессорный модуль;
4 – датчики: акселерометр, гироскоп и магнитный датчик

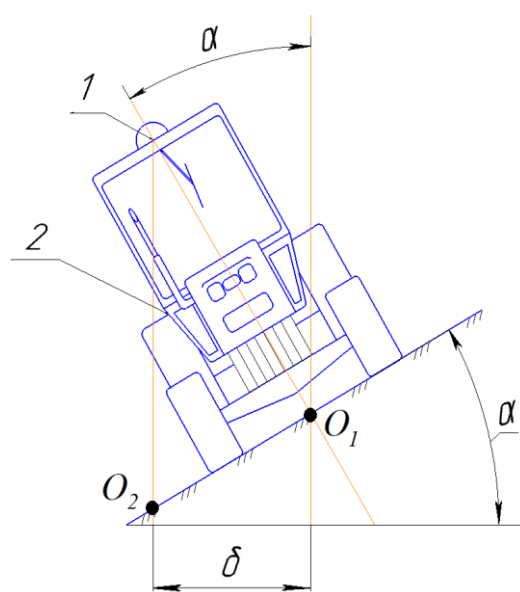


Рис. 2. Смещение координаты точки O_1 до O_2 на величину δ при наклоне трактора на угол α :
1 – антенна спутникового приёмника;
2 – трактор

Экспериментальная база сформирована на посевных площадях озимой пшеницы при проведении подкормки минеральными удобрениями с применением самоходного разбрасывателя «Туман-2».

В качестве эталона для сопоставления использовалась штатная система параллельного вождения с электромеханическим подруливающим устройством Teejet Matrix Pro 570GS (производство США). Регистрация траекторий обеих систем осуществлялась синхронно, на экране планшета отображались оперативные параметры: ширина захвата 20 м, пройденный путь, наработка времени, скоростной режим.

Перед началом технологического прохода в бункер самоходной машины загружено 1680 кг удобрений, рассчитанных на обработку 16 га. Полное исчерпание запаса удобрений совпало с индикацией обработанной площади 16,06 га на

дисплее планшета. Аналогичные значения зафиксированы штатной системой разбрасывателя.

Результаты и их обсуждение

Пилотные испытания проводились на тракторной технике МТЗ-82 и John Deere с вариантным размещением спутниковой антенны на крыше кабины и на капоте (рис. 3). Траектория движения фиксировалась при помощи опущенного на почву прицепного агрегата, оставлявшего непрерывный след (рис. 3 б).

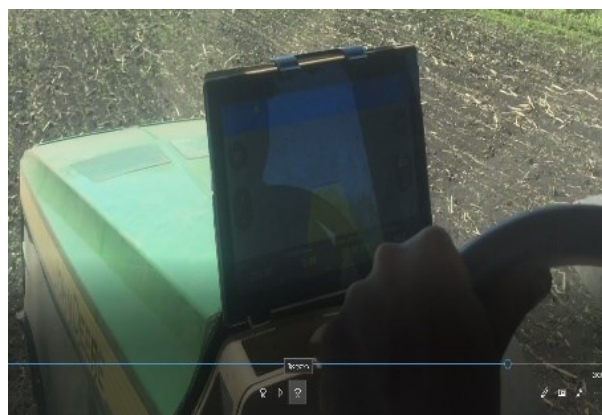
На рисунке 4 а, б представлены цифровые треки, отображаемые на экране планшета, где отчетливо прослеживаются зоны двойного прохода. Данный эффект обусловлен тем, что угловое отклонение трактора на неровностях рельефа без программной коррекции интерпретируется как изменение направления движения. Применение алгоритма коррекции по данным встроенных сенсоров планшета при кренах агрегата обеспечивает формирование более достоверной траектории (рис. 4 в).



а



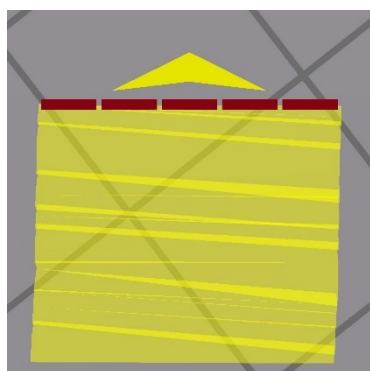
б



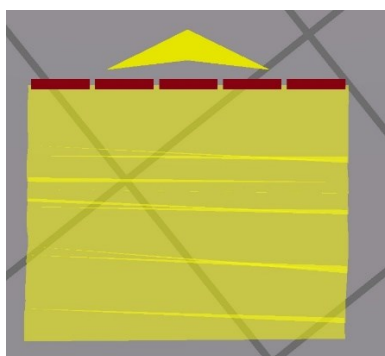
г



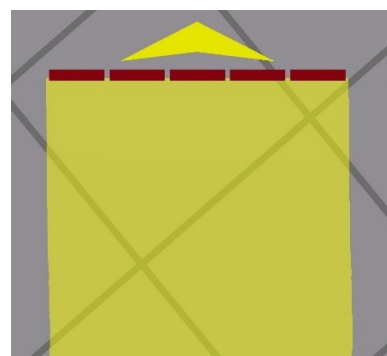
Рис. 3. Полевые испытания АПК на тракторах МТЗ-82 (а, б, в) и John Deere (г, д)



а



б



в

Рис. 4. Трек (след) на экране планшета без корректировки координат:

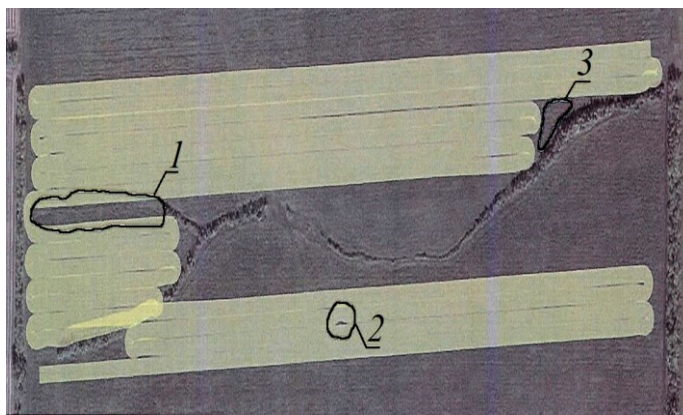
а – антенна на крыше; б – на капоте и с корректировкой с использованием встроенных датчиков планшета; в – антенна на крыше

В ходе технологического процесса разбрасыватель заправлялся на границе поля, что требовало регулярного отдаления от рабочей зоны (рис. 5). Конечная точка предыдущего прохода

определялась разработанным комплексом без погрешностей (аналогично штатной системе), после чего обработка возобновлялась с точки прерывания.



а



б

Рис. 5. Полевые испытания АПК на самоходной машине «Туман 2» (пройденный путь 15934,72 м, обработанная площадь 31,87 Га): 1 и 3 – небольшие овраги; 2 – смещение трека из-за обхода препятствия

При сравнительной оценке показателей выработки при внесении минеральных удобрений фиксация параметров осуществлялась параллельно штатным прибором Teejet и экспериментальным комплексом. Получены следующие метрологические характеристики: ширина технологической полосы 20 м с линейными отклонениями не более 0,1 м, пройденный путь при разбрасывании 8,0 км, обработанная площадь 16,06 га, длительность рабочего цикла 20 мин. 51 с. По результатам второй заправки: путь 15,9 км, площадь 31,87 га, время 20 мин. 11 с. Контрольные измерения штатного устройства подтвердили идентичность результатов.

Выводы

Разработанный аппаратно-программный комплекс обеспечивает функционирование системы параллельного вождения машинно-тракторного агрегата как на прямолинейных, так и на криволинейных технологических проходах. Введение алгоритмической коррекции спутниковых координат при пространственных наклонах агрегата гарантирует низкую относительную погрешность геопозиционирования (в пределах 10 см), при этом использование штатных сенсоров планшета не требует дополнительных капитальных затрат.

Установлено, что при ручном управлении по курсоуказателю разработанного комплекса наблюдаются отклонения и перекрытия техно-

логических полос в диапазоне 30-40 см. Для достижения субдециметровой точности целесообразно применение комплекса совместно с автоматическим подруливающим устройством.

Сравнительные метрологические испытания подтвердили, что разработанный комплекс формирует достоверную информацию о производственных показателях агрегата. Пройденный путь, обработанная площадь и время наработки оказались идентичны данным штатного устройства Teejet.

В период натурных испытаний при прохождении под высоковольтными линиями электропередачи штатная система Teejet дважды фиксировала критический сбой с принудительной перезагрузкой. Требовались остановка агрегата и ожидание инициализации операционной системы. В указанный временной интервал предлагаемый отечественный комплекс продолжал функционирование в штатном режиме.

Библиографический список

1. Афанасьев, Р. А. О перспективах роботизации точного земледелия / Р. А. Афанасьев, И. Л. Ермолов. – Текст: непосредственный // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2016. – № 12. – С. 828-833.
2. Беленков, А. И. Точное (координатное) земледелие в РГАУ - МСХА имени К.А. Тимирязева: реальность и перспективы / А. И. Беленков, А. Ю. Тюмаков, М. У. Сабо. – Текст:

непосредственный // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2015. – № 4 (126). – С. 5-10.

3. Курсоуказатель Agroglobal AGN8000. – URL: <http://agroglobal.pro/products/> (дата обращения: 15.03.2024). – Текст: электронный.

4. Труханович, А. Л. Аппаратно-программный комплекс навигационного оборудования для точного земледелия / А. Л. Труханович, П. В. Кучинский. – Текст: непосредственный // Приборы и методы измерений. – 2012. – № 2 (5). – С. 28-32.

5. Труфляк, Е. В. Основные элементы системы точного земледелия: учебное пособие / Е. В. Труфляк. – Краснодар: КубГАУ, 2016. – 39 с. – Текст: непосредственный.

6. Якимова, Л. А. Эффективность ресурсосберегающих технологий в системе точного земледелия / Л. А. Якимова. – Текст: непосредственный // Вестник КрасГАУ. – 2017. – № 9. – С. 23-29.

7. Точное земледелие от Trimble. – URL: http://www.agrostruman.ru/netcat_files/userfiles/Trimble_catalogue2014.pdf (дата обращения: 15.03.2024). – Текст: электронный.

8. Хасанов, Э. Р. Разработка аппаратно-программного комплекса для дифференцированного внесения удобрений / Э. Р. Хасанов, Р. Р. Галиуллин, Ф. Н. Галлямов. – Текст: непосредственный // Современное состояние, традиции и инновационные технологии в развитии АПК: сборник материалов Международной научно-практической конференции в рамках XXVIII международной специализированной выставки «Агрокомплекс-2018», Уфа, 14-16 марта 2018 года – Уфа, 2018. – Ч. 3. – С. 204-211.

9. Mullerelektronik. – URL: <https://www.mueller-elektronik.de> (дата обращения: 15.03.2024). – Текст: электронный.

10. Teejet technologies. Каталог 51A-RU. – URL: http://microas.ru/sites/default/files/katalog_teejet.pdf (дата обращения: 15.03.2024). – Текст: электронный.

11. Галиуллин, Р. Р. Аппаратно-программный комплекс для системы точного земледелия / Р. Р. Галиуллин, И. Ф. Аллаяров. – Текст: непосредственный // Материалы X Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых. – 2017. – Ч. 2. – С. 19-22.

12. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2018613106. Программа для параллельного вождения машинно-тракторного

агрегата с использованием планшета и GPS/GLONASS приемника / Р. Р. Галиуллин, Э. Р. Хасанов, Ф. Н. Галлямов, И. Ф. Аллаяров. – Заявл. 10.01.2018. – Зарегистр. 02.03.2018. – Текст: непосредственный.

13. Сравнительная оценка систем параллельного вождения / Д. А. Петухов, М. Е. Чаплыгин, С. А. Свиридова, В. Воронков. – Текст: непосредственный // Агроснабфорум. – 2016. – № 1. – С. 18-21.

14. Система параллельного вождения ГЛОНАСС Пилот. – URL: <http://www.labsolut.ru/products/sistema-parallelnogo-vojdaniya-glonash-pilot.html> (дата обращения: 15.03.2024). – Текст: электронный.

15. Системы точного земледелия. – URL: <http://www.ksm-intech.ru/#products> (дата обращения: 15.03.2024). – Текст: электронный.

References

1. Afanasev R.A., Ermolov I.L. O perspektivakh robotizatsii tochnogo zemledeliya // Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravlenie. 2016. No. 12. S. 828–833.

2. Belenkov, A. I. Tochnoe (koordinatnoe) zemledelie v RGAU - MSKHA imeni K.A. Timiryazeva: realnost i perspektivy / A. I. Belenkov, A. Yu. Tyumakov, U. M. Sabo // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2015. – No. 4 (126). – S. 5-10.

3. Kursoukazatel Agroglobal AGN8000 [Elektronnyy resurs]. URL: <http://agroglobal.pro/products/> (data obrashcheniya: 15.03.2024).

4. Trukhanovich A.L., Kuchinskiy P.V. Apparatno-programmnyy kompleks navigatsionnogo oborudovaniya dlya tochnogo zemledeliya // Pribory i metody izmereniy. 2012. No. 2 (5). S. 28–32.

5. Truflyak E.V. Osnovnye elementy sistemy tochnogo zemledeliya: uchebnoe posobie. Krasnodar: KubGAU, 2016. 39 s.

6. Yakimova L.A. Effektivnost resursosberegayushchikh tekhnologiy v sisteme tochnogo zemledeliya // Vestnik KrasGAU. 2017. No. 9. S. 23–29.

7. Tochnoe zemledelie ot Trimble [Elektronnyy resurs]. URL: http://www.agrostruman.ru/netcat_files/userfiles/Trimble_catalogue2014.pdf (data obrashcheniya: 15.03.2024).

8. Khasanov E.R., Galiullin R.R., Gallyamov F.N. Razrabotka apparatno-programmnogo kompleksa dlya differentsirovannogo vneseniya udobreniy // Materialy mezhdunarodnoy nauchno-

prakticheskoy konferentsii v ramkakh XXVIII mezhdunarodnoy spetsializirovannoy vystavki "Agrokompleks-2018". 2018. Ch. 3. S. 204–211.

9. Mullerelektronik [Elektronnyy resurs]. URL: <https://www.mueller-elektronik.de> (data obrashcheniya: 15.03.2024).

10. Teejet technologies. Katalog 51A-RU [Elektronnyy resurs]. URL: http://microas.ru/sites/default/files/katalog_teejet.pdf (data obrashcheniya: 15.03.2024).

11. Galiullin R.R., Allayarov I.F. Apparatno-programmnyy kompleks dlya sistemy tochnogo zemledeliya // Materialy X vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchenykh. 2017. Ch. 2. S. 19–22.

12. Galiullin R.R., Khasanov E.R., Gallyamov F.N., Allayarov I.F. Programma dlya paral-

elnogo vozhdeniya mashinno-traktornogo agregata s ispolzovaniem plansheta i GPS/GLONASS priemnika // Svidetelstvo o registratsii programmy dlya EVM RUS 2018613106. 10.01.2018.

13. Petukhov D.A., Chaplygin M.E., Sviridova S.A., Voronkov V. Sravnitel'naya otsenka sistem parallelnogo vozhdeniya // Agrosnabforum. 2016. No. 1. S. 18–21.

14. Sistema parallelnogo vozhdeniya GLONASS Pilot [Elektronnyy resurs]. URL: <http://www.labsolut.ru/products/sistema-parallelnogo-vozhdeniya-glonash-pilot.html> (data obrashcheniya: 15.03.2024).

15. Sistemy tochnogo zemledeliya [Elektronnyy resurs]. URL: <http://www.ksm-intech.ru/#products> (data obrashcheniya: 15.03.2024).



УДК 574.21

DOI: 10.53083/1996-4277-2026-262-8-86-91

Н.Я. Илюшов, С.М. Угай

N.Ya. Ilyushov, S.M. Ugay

РОЛЬ ПРОЦЕССОВ РАССЕЙВАНИЯ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ ВЫБРОСОВ В ОБЕСПЕЧЕНИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

ROLE OF VENTILATION EMISSIONS DISPERSAL PROCESSES IN ENSURING ENVIRONMENTAL SAFETY

Ключевые слова: выбросы, атмосфера, вентиляция, рассеивание, факел, инверсия, изотермия, конвекция, биоаэрозоли, концентрации.

Рассматриваются вопросы обеспечения экологической безопасности животноводческих комплексов с помощью установки различных систем рассеивания вентиляционных выбросов. Представлены данные о типовом составе выбросов данных комплексов, их влиянии на окружающую среду, а также средние концентрации наиболее опасных компонентов выбросов и воздействие данных концентраций на животных. Особенно подробно рассматривались данные о результатах исследования биоаэрозолей и микроорганизмов, обнаруженных в воздухе помещений комплексов. Приведены 3 основных концепции уменьшения концентраций загрязняющих веществ в вентиляционных выбросах и их сравнительные характеристики. Особое внимание уделено эффективности очистки вентиляционных выбросов с помощью каждого из этих методов. Показано основное отличие систем вентиляции и систем рассеивания, а также насколько повышается эффективность снижения концентрации загрязняющих веществ при комплекс-

ном использовании данных систем. Приведен обзор основных видов систем рассеивания с указанием их эффективности и энергозатратности. Также перечислены и другие факторы, оказывающие влияние на процессы рассеивания загрязняющих веществ в атмосфере, такие как атмосферные условия и рельеф местности рядом с источником вентиляционных выбросов. Сформулирована гипотеза о том, как можно добиться высокой эффективности очистки выбросов при одновременном снижении энергозатрат на системы вентиляции и рассеивания в зависимости от вертикальной устойчивости атмосферы, силы и направления ветра, а также от технологических процессов внутри животноводческих комплексов. Сделан вывод о том, что процессы рассеивания вентиляционных выбросов являются не только экологической, но также биологической и экономической проблемой, и эта проблема оказывает значительное влияние на эффективность и экологическую безопасность любого животноводческого комплекса. Научно обоснованная оценка этих процессов позволяет разрабатывать меры по оптимизации вентиляции, снижению концентрации вредных веществ и профилактике заболеваний животных, что в конеч-