

(ВУ) [и др.]; заявитель АО «Казахский агротехнический университет им. С. Сейфуллина». – № 201500921; заявл. 19.06.2015; опубл. 29.12.2017 // Евразийское патентное ведомство «Изобретения». – 2017. – Бюл. № 12. – 3 с.

11. Высеивающее устройство : патент на изобретение 37346 В РК, МПК А01С 7/00 / С.О.Нукешев (KZ); Д.З.Есхожин (KZ); К.М.Тлеумбетов (KZ); Е.С.Ахметов (KZ); Д.А.Сыздыков (KZ); А.Сугирбай (KZ); Н.Н.Романюк (ВУ) [и др.]; заявитель НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет им. С.Сейфуллина» (KZ). – № 024/0266.1; заявл. 03.04.2024; зарег. 30.05.2025 // Гос. реестр изобретений РК. – 2025. – Бюл. №22.

УДК 631.171/331.1

И.А. Старостин, канд. техн. наук,

С.А. Давыдова, канд. техн. наук,

А.В. Ещин, канд. техн. наук

*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», г. Москва
e-mail: davidova-sa@mail.ru*

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ ВЛИЯНИЯ УРОВНЯ АВТОМАТИЗАЦИИ НА ВОЗМОЖНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ОПЕРАТОРОМ НЕСКОЛЬКИМИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫМИ АГРЕГАТАМИ

Ключевые слова: автоматизация сельскохозяйственной техники, уровень автоматизации, цифровое сельское хозяйство, сельскохозяйственный агрегат, затраты рабочего времени.

Key words: agricultural machinery automation, automation level, digital agriculture, agricultural implement, labor time costs.

Аннотация: В работе проведен анализ распределения затрат рабочего времени оператора сельскохозяйственного агрегата на выполнение технологической операции в соответствии с классификацией сельскохозяйственной техники по уровню автоматизации управления основными элементами и системами, оказывающими значительное влияние на эффективность и качество выполнения технологического процесса.

Summary: The study analyzed the distribution of working time costs for an agricultural machine operator during a technological operation, in accordance with the classification of agricultural machinery by the level of automation of its main elements and systems, which significantly influence the efficiency and quality of the technological process

Переход к цифровому сельскому хозяйству требует рассматривать мобильные энергетические средства как сложные системы, где управление

все больше передается автоматизации. Цифровые системы помощи оператору, от агронавигаторов до полноценных систем параллельного вождения, получают распространение. Их влияние на результат и экономическую эффективность неоднозначно, поэтому необходима дифференцированная оценка по уровню автономности и влиянию на технологический процесс [1, 2]. Цель исследований: разработка методологического подхода к оценке затрат рабочего времени оператора и возможности перехода к управлению несколькими сельскохозяйственными агрегатами в зависимости от уровня автоматизации управления основными элементами и системами мобильных энергетических средств. Для оценки влияния автоматизации сельхозтехники на затраты рабочего времени оператора использовались общеизвестные методики и разработанная методология, позволяющая определить рациональные границы перехода от управления одним оператором одного сельскохозяйственного агрегата к управлению несколькими сельскохозяйственными агрегатами, в том числе дистанционно. Сравнивали однотипные агрегаты: с оператором и полностью беспилотные.

Для полевых агрегатов в растениеводстве доступны цифровые и роботизированные системы управления: рулевое, трансмиссией, тормозной, ходовой, навесной и выносной гидравлической, ВОМ, а также управление отдельными функциями и контроль технологического процесса (например, норма высева, доза удобрений/СЗР) [3, 4]. В связи с этим предложено разделить применяемые цифровые и роботизированные системы по уровням обеспечиваемой автономности систем управления различных функциональных элементов мобильных энергетических средств и сельскохозяйственных машин [5].

В настоящее время серийно выпускаемые электронные системы позволяют создавать агрегаты первого уровня автоматизации, ведущиеся разработки в области комплексных систем управления сельскохозяйственными агрегатами можно отнести ко второму уровню автоматизации, а создаваемые роботизированные системы, например, для мониторинга состояния сельскохозяйственных культур, сбора плодов и ягод [6] могут достигать третьего и четвертого уровней автоматизации.

Одним из наиболее ожидаемых эффектов от внедрения цифровых технологий и роботизированных систем в сельскохозяйственное производство является повышение производительности труда за счет замещения функций человека по управлению и контролю за технологическим процессом автоматизированными системами [7], что в долгосрочной перспективе сможет позволить полностью исключить участие человека в технологическом процессе.

Если рассмотреть функционал человека (оператора) при осуществлении технологической операции сельскохозяйственным агрегатом в разрезе предложенной ранее в [5] классификации, то возможно отметить следующее. Функции оператора сельскохозяйственного агрегата включают управление (рулевое, трансмиссия, гидравлика), контроль (глубина обработки, работа высевающих аппаратов/форсунок) и наблюдение [8]. Без ав-

томатизации оператор выполняет почти все функции управления и контроля. Время работы оператора делится на затрачиваемое на управление – $t_{упр}$, затрачиваемое на контроль – $t_{конт}$ и затрачиваемое на наблюдение за протеканием технологического процесса – $t_{набл}$. С ростом автоматизации функции управления и контроля переходят к системам, высвобождая время оператора, которое может использоваться непродуктивно.

С целью оценки затрат времени оператора на реализацию функций управления и контроля протекания работы сельскохозяйственного агрегата предлагается ввести коэффициенты затрат времени оператора на реализацию функций управления сельскохозяйственным агрегатом $k_{t_{упр}}$ и контроля за протеканием технологического процесса – $k_{t_{конт}}$.

$$k_{t_{упр}} = 1 - \frac{t_{упр}}{t_{осн}}, \quad (1)$$

$$k_{t_{конт}} = 1 - \frac{t_{конт}}{t_{осн}}, \quad (2)$$

где $t_{осн}$ – продолжительность основного времени работы агрегата, ч.

Затрачиваемое оператором время на управление будет определяться:

$$t_{упр} = \sum_{i=1}^n t_i \frac{t_{осн}}{\gamma_i}, \quad (3)$$

где t_i – затраты времени оператора на осуществление воздействия на i -ый орган управления, ч; n – количество органов управления, на которые воздействует оператор в течение основного времени работы; γ_i – период времени через который повторяется воздействия оператора на i -ый орган управления, ч.

Затрачиваемое оператором время на осуществление контроля будет определяться:

$$t_{конт} = \sum_{j=1}^m t_j \frac{t_{осн}}{\gamma_j}, \quad (4)$$

где t_j – затраты времени оператора на осуществление контроля j -ого параметра протекания технологического процесса, ч; m – количество контролируемых оператором параметров протекания технологического процесса; γ_j – период времени через который должен повторяться контроль оператором j -ого параметра протекания технологического процесса, ч.ш

Коэффициенты $k_{t_{упр}}$ (0-1) и $k_{t_{конт}}$ (0-1) отражают долю времени, затрачиваемого оператором на управление агрегатом и на контроль техпроцесса и состояния техники соответственно. 0 означает постоянное управление или контроль, 1 – отсутствие участия в управлении или контроле. В реальных условиях затраты времени на управление агрегатом или контроль техпроцесса не могут быть нулевыми, однако, в данном исследовании допускаем, что эти коэффициенты могут принимать нулевые значения.

Рассмотрим значения коэффициентов $k_{\text{упр}}$ и $k_{\text{контр}}$ при разных уровнях автоматизации. На уровнях 0-2 $k_{\text{упр}} < 1$, $k_{\text{контр}}$ – от 0 до 0,5. На уровнях 3-4 $k_{\text{упр}} = 1$ (управление полностью автоматизировано), $k_{\text{контр}}$ – от 0,5 до 1, что позволяет контролировать несколько агрегатов. На уровне 5 оба коэффициента равны 1, что означает отсутствие участия оператора в отдельной операции и возможность его привлечения к обслуживанию или управлению комплексом машин.

Приведенная методология определяет границы перехода к управлению несколькими сельскохозяйственными агрегатами (в т.ч. дистанционно). Число агрегатов на оператора определяется по формуле:

$$n_{\text{агр}} = \frac{1}{1 - k_{\text{контр}}}. \quad (5)$$

Получаемые по данной формуле значения округляют в меньшую сторону до целого числа агрегатов. При $k_{\text{контр}}$ большим либо равным 0,5 оператор может управлять двумя агрегатами, при 0,67 – тремя, при 0,75 – четырьмя и т.д. При $k_{\text{контр}} = 1$ $n_{\text{агр}} \rightarrow \infty$ – оператор не участвует в управлении.

Выводы. Предложенные коэффициенты затрат времени оператора, полученные из формул анализа рабочего времени, позволяют определить границы уровней автоматизации сельскохозяйственных агрегатов и число контролируемых агрегатов. Это дает возможность рассчитать производительность труда, трудозатраты и оплату труда оператора при различных уровнях автоматизации.

Список использованной литературы

1. Старостин И.А., Давыдова С.А., Ешин А.В. Интеллектуальная система управления сельскохозяйственными роботами: формирование структуры // *Агроинженерия*. 2023. Т. 25, № 3. С. 49–56. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-3-49-56>. EDN SUYDSC.
2. Аксенов А.Г. Анализ интеллектуальных систем поддержки принятия решений в сельском хозяйстве // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2019. № 3(36). С. 46-51. EDN CECDAN.
3. Хорт Д.О., Кутырев А.И., Смирнов И.Г., Моисеев Г.В., Соловьев В.И. Управление движением сельскохозяйственной автономной роботизированной платформы // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2023. Т. 17, № 1. С. 25–34. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2023-17-1-25-34>. EDN UXTRFN.
4. Лобачевский Я.П., Лонин С.Э., Алексеев И.С., Гончаров Н.Т., Афонина И.И., Ильченко Е.Н. Разработка алгоритмов и программного обеспечения систем управления движением роботизированного почвообрабатывающего агрегата // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2019. Т. 13, № 2. С. 48–52. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2018-12-6-48-52>. EDN PLAHMR.
5. Старостин И.А., Ешин А.В., Годжаев Т.З., Давыдова С.А. Концептуальные направления развития беспилотных мобильных энергетических средств сельско-

хозяйственного назначения // Тракторы и сельхозмашины. 2024. Т. 91, № 1. С. 23–37. <https://doi.org/10.17816/0321-4443-567812>.

6. Лобачевский Я.П., Дорохов А.С. Цифровые технологии и роботизированные технические средства для сельского хозяйства // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2021. Т. 15, № 4. С. 6–10. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2021-15-4-6-10>. EDN YFRZDV.

7. Лобачевский Я.П., Бейлис В.М., Ценч Ю.С. Аспекты цифровизации Системы технологий и машин // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2019. № 3(36). С. 40–45. EDN RLCДНО.

8. Старовойтов С.И., Ценч Ю.С., Коротченя В.М., Личман Г.И. Технические системы цифрового контроля качества обработки почвы // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2020. Т. 14, № 1. С. 16–21. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2020-14-1-16-21>. EDN НУҢҢАN.

УДК 631.3:621.865.8

В.А. Борисов, канд. техн. наук

*Некоммерческое партнерство «Международный центр
инжиниринга и инноваций», г. Москва
e-mail: v.a.borisov@yandex.ru*

Е.И. Битус, д-р техн. наук, профессор

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Российский биотехнологический университет»,
г. Москва*

ОБЗОР ИННОВАЦИОННЫХ РЕШЕНИЙ ПО ДЕКАРБОНИЗАЦИИ ПОГРУЗОЧНО-РАЗГРУЗОЧНЫХ ОПЕРАЦИЙ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ МАНИПУЛЯТОРОВ С ТРОСОВЫМИ ПРИВОДАМИ (CABLE-DRIVEN PARALLEL ROBOTS)

Ключевые слова: декарбонизация, сельское хозяйство, погрузо-разгрузочные работы, манипулятор с тросовым приводом, кабельный робот, механизм параллельной структуры, энергоэффективность.

Key words: decarbonization, agriculture, loading and unloading operations, cable-driven manipulator, cable robot, parallel structure mechanism, energy efficiency.

Аннотация: В статье представлен обзор современных инженеринговых решений, направленных на снижение углеродного следа при выполнении погрузо-разгрузочных операций в сельском хозяйстве. Применение манипуляторов параллельной структуры с тросовыми приводами (CDPR) является перспективным направлением декарбонизации. Проанализированы ключевые преимущества таких систем: снижение материалоемкости,