

## АГРОНОМИЯ

## AGRONOMY

Научная статья

УДК 77

EDN SSQVXH

DOI: 10.22450/199996837\_2022\_4\_7

**Параметры и режимы наземной фотосъемки  
посевов для обнаружения сорных растений****Владимир Иванович Беляев<sup>1</sup>, Софья Владиславовна Железова<sup>2</sup>,  
Василий Николаевич Кузнецов<sup>3</sup>, Евгения Вячеславовна Степанова<sup>4</sup>,  
Роман Евгеньевич Прокопчук<sup>5</sup>**<sup>1,3,5</sup> Алтайский государственный аграрный университет, Алтайский край, Барнаул, Россия<sup>2,4</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии

Московская область, Большие Вязёмы, Россия

<sup>1</sup> [prof-belyaev@yandex.ru](mailto:prof-belyaev@yandex.ru), <sup>2</sup> [soferrum@mail.ru](mailto:soferrum@mail.ru),<sup>3</sup> [Kusnezow-VN@yandex.ru](mailto:Kusnezow-VN@yandex.ru), <sup>4</sup> [jacky-st@yandex.ru](mailto:jacky-st@yandex.ru), <sup>5</sup> [roman.prokopchuk.2015@mail.ru](mailto:roman.prokopchuk.2015@mail.ru)

**Аннотация.** В полевых условиях в серии технических экспериментов на производственных посевах зерновых культур были проведены испытания оптического комплекса камеры совместно с системой позиционирования на наземном носителе для оценки засоренности посевов. Для выбора оптимальных параметров съемки, обеспечивающих достоверное определение наличия и геопозиционирования сорняков в посевах, были реализованы сценарии проведения съемки при разных скоростях движения агрегата и при разных углах наклона камеры. Получение результатов фотосъемки необходимого разрешения и качества достигнуто при установке угла камеры – 30–45°, скорости движения – 13–15 км/ч и частоте съемки – четыре кадра в секунду. По полученным фотоизображениям в посевах визуально с высокой достоверностью определено наличие сорных растений. Изображения с полученными характеристиками (качество и разрешение) дают возможность дальнейшего распознавания целевых объектов в автоматическом режиме на основе разрабатываемых технологий искусственного интеллекта.

**Ключевые слова:** посевы зерновых, фотосъемка посевов, технические особенности съемки, перспективные искажения фотоизображения, угол установки оптического комплекса, скорость движения агрегата

**Благодарности:** исследования выполнены в рамках реализации совместного проекта Всероссийского научно-исследовательского института фитопатологии и Алтайского государственного аграрного университета «Разработка методов своевременного выявления болезней, вредителей и сорных растений на полях с применением технического зрения и интеллектуальных систем для перехода к внесению пестицидов в дифференцированных дозах» при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (№ 075-15-2021-1409).

**Для цитирования:** Беляев В. И., Железова С. В., Кузнецов В. Н., Степанова Е. В., Прокопчук Р. Е. Параметры и режимы наземной фотосъемки посевов для обнаружения сорных растений // Дальневосточный аграрный вестник. 2022. Том 16. № 4. С. 7–18. doi: 10.22450/199996837\_2022\_4\_7.

Original article

**Parameters and modes of ground photography of crops to determine weed location****Vladimir I. Belyaev<sup>1</sup>, Sofya V. Zhelezova<sup>2</sup>,****Vasilii N. Kuznetsov<sup>3</sup>, Evgeniya V. Stepanova<sup>4</sup>, Roman E. Prokopchuk<sup>5</sup>**<sup>1, 3, 5</sup> Altai State Agricultural University, Altai region, Barnaul, Russia<sup>2, 4</sup> All-Russian Research Institute of Phytopathology, Moscow region, Bolshie Vyazemy, Russia<sup>1</sup> [prof-belyaev@yandex.ru](mailto:prof-belyaev@yandex.ru), <sup>2</sup> [soferrum@mail.ru](mailto:soferrum@mail.ru),<sup>3</sup> [Kusnezow-VN@yandex.ru](mailto:Kusnezow-VN@yandex.ru), <sup>4</sup> [jacky-st@yandex.ru](mailto:jacky-st@yandex.ru), <sup>5</sup> [roman.prokopchuk.2015@mail.ru](mailto:roman.prokopchuk.2015@mail.ru)

**Abstract.** In the field conditions, in a set of technical experiments on industrial grain crops, the optical camera system along with a positioning system was tested on ground carrier to assess the contamination of crops by weed plants. To choose optimum parameters of photography that ensure reliable determination of the presence and location of weeds in crops, photography scenarios were implemented at different velocities of the unit and at different camera mount angles. The necessary resolution and quality of photo images was achieved with the camera mount angle values set to 30–45°, the unit movement velocity was 13–15 km/h and the filming frequency was 4 frames per second. The presence of weeds was visually determined with high reliability in the obtained images of the crops. The images with the achieved characteristics (quality and resolution) make feasible the further recognition of target objects in automatic mode based on the developed technologies with artificial intelligence usage.

**Keywords:** grain crops, photography of crops, technical features of photography, perspective distortion of photo image, mount angle of optic system, unit movement velocity

**Acknowledgments:** the research was carried out as part of a joint project of the All-Russian Research Institute of Phytopathology and Altai State Agrarian University "Development of methods for timely detection of diseases, pests and weeds in the fields using technical vision and intelligent systems for the transition to the introduction of pesticides in differentiated doses" with financial support from the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (No. 075-15-2021-1409).

**For citation:** Belyaev V. I., Zhelezova S. V., Kuznetsov V. N., Stepanova E. V., Prokopchuk R. E. Parametry i rezhimy nazemnoi fotos"emki posevov dlya obnaruzheniya sornykh rastenii [Parameters and modes of ground photography of crops to determine weed location]. *Dal'nevostochnyj agrarnyj vestnik. – Far Eastern Agrarian Bulletin.* 2022; 16; 4: 7–18. (in Russ.). doi: 10.22450/199996837\_2022\_4\_7.

**Введение.** Сорная растительность в посевах – практически повсеместный и постоянный негативный хозяйственный фактор при возделывании сельскохозяйственных культур. Сорняки существенно ухудшают условия роста и развития культурных растений за счет конкуренции в потреблении почвенной влаги и элементов минерального питания. Также многие виды сорных растений являются переносчиками и резерватами болезней и вредителей посевов. Это приводит как к снижению урожайности и качества продукции, так и к дополнительным затратам при уборке урожая (забивание рабочих органов и механизмов уборочных машин, повышенная засоренность продукции сорными растениями и др.) [1, 2].

Эффективная борьба с сорняками является одной из важнейших задач в сельскохозяйственном производстве. В настоящее время для борьбы с сорными растениями широко применяют химические методы с использованием гербицидов различного механизма действия. Эти методы эффективны, но могут приводить к значительному повышению себестоимости продукции из-за дополнительного расхода средств защиты растений [2, 3].

Снижение расхода гербицидов может быть достигнуто при внедрении в растениеводство цифровых технологий, которые позволяют повысить эффективность сельскохозяйственного производства за счет регулирования техногенных затрат и снижения себестоимости продук-

ции, в том числе за счет внесения средств защиты растений в дифференцированных дозах [2].

Дифференцированное внесение средств защиты подразумевает исключение сплошной обработки посевов гербицидами, ограничиваясь адресным координатным внесением только на пятна распространения сорных растений в посевах. Для выполнения такой задачи необходимо создание комплексной технической системы, способной распознавать сорные растения в посевах различных сельскохозяйственных культур при движении агрегата для внесения гербицидов и непосредственно осуществлять сценарий дифференцированного опрыскивания посевов.

В мире известны системы точечного внесения гербицидов, например, AmaSpot компании Amazone (Германия), WeedSeeker компании Trimble (США), Greeneye компании Greeneye Technology (Израиль) и др. В условиях импортозамещения необходимо создание отечественной системы дифференцированного внесения средств защиты растений.

В общем случае работа такой системы происходит в несколько этапов:

- 1) обнаружение и идентификация сорных растений в посевах;
- 2) определение координат расположения сорных растений;
- 3) точечное внесение гербицидов в указанную точку.

Вопросам обнаружения и идентификации сорняков посвящены труды многих авторов. Например, в работах [4–7] описываются методы обнаружения сорняков по данным дистанционного зондирования, основанные на измерении спектральных характеристик культурных и сорных растений.

Применение нейронных сетей глубокого обучения и машинного зрения при распознавании сорняков описано в работах [8–11]. Использование нейронных сетей подразумевает процесс обучения, который основан на выявлении характерных признаков целевых объектов. Для успешного обучения требуется обширный набор фотоизображений сорняков, находящихся в естественных условиях.

**Целью исследования является определение оптимального сочетания параметров и режимов фотосъемки посевов и скорости движения агрегата для обнаружения и записи координат сорных растений в полевых условиях.**

В качестве объекта исследования выбраны параметры и режимы фотосъемки посевов для достоверного определения наличия и координат пространственного размещения сорных растений в посевах.

#### **Теоретические предпосылки.**

Съемка посевов оптическим комплексом, установленным на движущемся агрегате, имеет несколько особенностей:

1) полученное фотоизображение охватывает трапециевидную область на поверхности почвы, у которой меньшее основание приближено к агрегату, то есть имеют место довольно существенные перспективные искажения в поле зрения камеры;

2) реальный размер и степень искажения получаемой на изображении «трапеции» зависит как от высоты установки камеры над поверхностью поля, так и от угла наклона камеры к вертикали (вертикаль – съемка в надир);

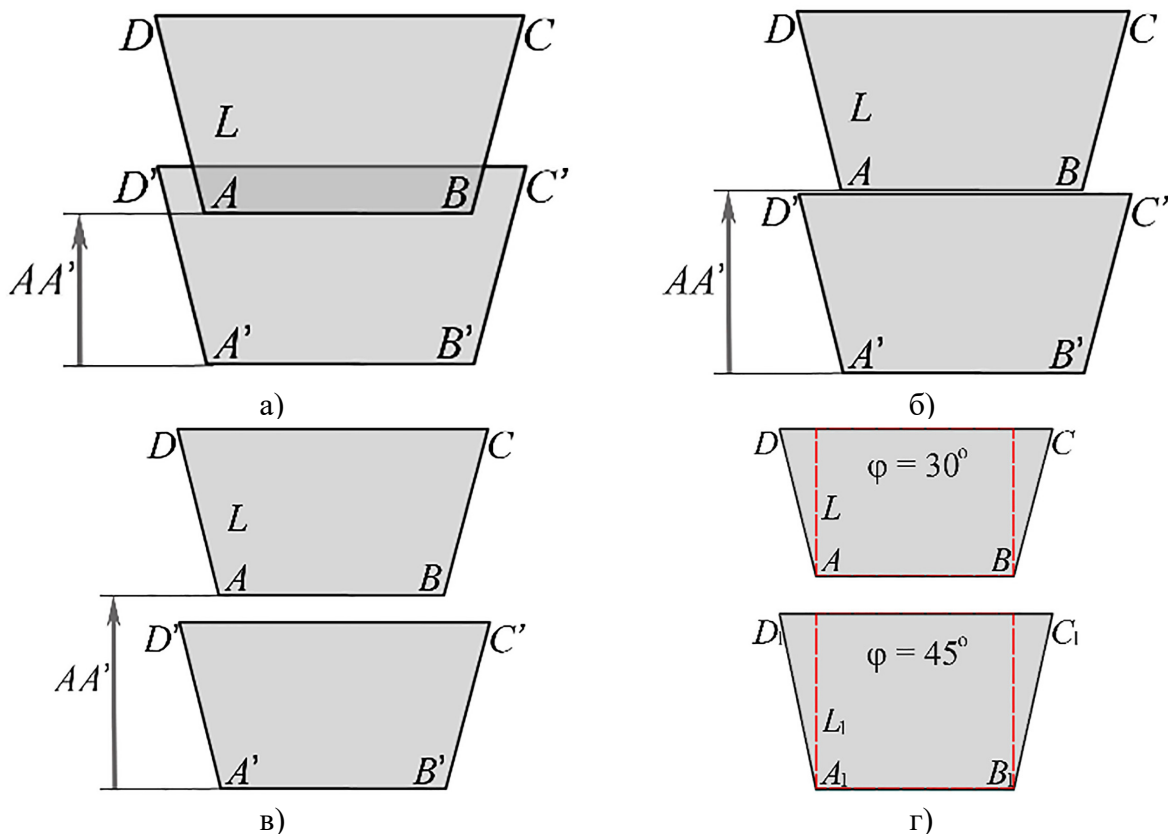
3) если частота съемки не соответствует скорости движения агрегата, то могут появиться участки поля, не попавшие на фото, или один участок может быть изображен на нескольких кадрах (рис. 1).

Техническое требование к съемке посевов на этапе отработки технологии состояло в том, чтобы кадры перекрывались минимально и не были разобщены в пространстве, так, чтобы точки  $A'$  и  $B'$  при съемке попадали внутрь области, изображенной на предыдущем кадре (рис. 1, а), или на линию  $CD$  (рис. 1, б).

Расстояние  $AA'$  – расчетный шаг смещения последовательно получаемых кадров вдоль линии движения агрегата. Высота «трапеции» в кадре должна быть больше или равна расстоянию  $AA'$ , проходимо агрегатом между соседними кадрами за время  $t$ :

$$AA' = v \cdot t \quad (1)$$

где  $v$  – скорость движения агрегата, м/с;  
 $t$  – время, с.



а) перекрытие кадров; б) соответствие скорости движения и частоты съемки; в) пропуски участков поля при пространственном разобщении кадров; г) изменение трапеции  $ABCD$  в зависимости от угла наклона оси камеры к вертикали  $\varphi$  ( $AA'$  – путь агрегата за время между точками фиксации последовательных изображений)

**Рисунок 1 – Трапеции  $A'B'C'D'$  и  $ABCD$  – участки поверхности поля, зафиксированные на двух последовательных кадрах фотосъемки**

Высоту «трапеции»  $L$  можно найти, зная высоту расположения камеры над поверхностью почвы  $h$  и угол зрения объектива  $A$  при выбранном фокусном расстоянии:

$$L = h \left[ \operatorname{tg} \left( \varphi + \frac{A}{2} \right) - \operatorname{tg} \left( \varphi - \frac{A}{2} \right) \right] \quad (2)$$

где  $A$  – угол зрения фотокамеры;  
 $h$  – высота расположения фотокамеры над поверхностью почвы;  
 $\varphi$  – угол наклона оптической оси фотокамеры к вертикали.

Количество кадров  $n$ , снимаемых за одну секунду, необходимое для качественного отображения состояния посевов может быть найдено из выражения (3):

$$n \geq \frac{1}{t} = \frac{v}{AA'} \geq \frac{v}{L} = \frac{v}{h} \left[ \operatorname{tg} \left( \varphi + \frac{A}{2} \right) - \operatorname{tg} \left( \varphi - \frac{A}{2} \right) \right]^{-1} \quad (3)$$

**Экспериментальная часть.** Экспериментальные исследования проводились на полях учебно-опытной сельскохозяйственной станции Алтайского государственного аграрного университета на посевах озимой пшеницы в фазу кущения с использованием навесного опрыскивателя Муссон-1000 на базе автомобиля УАЗ-3303 шириной захвата 20 метров (рис. 2).

При проведении исследований использовался разработанный оптический комплекс, состоящий из фотокамеры SonyDSC-RX0M2 и устройства фиксации и записи координат GPS (GPS-модуль). Общий вид комплекса показан на рисунке 3. Комплекс позволяет задать частоту



**Рисунок 2 – Агрегат при проведении испытаний**



**Рисунок 3 – Общий вид оптического комплекса**

съемки в диапазоне от одного до четырех кадров в секунду, что обусловлено техническими характеристиками фотокамеры.

В полевых условиях, соответствующих производственным задачам оценки засоренности посевов, был реализован двухфакторный технический эксперимент с тремя градациями каждого фактора. По каждой градации изучаемых факторов было проведено техническое испытание, в результате которого получены фотоизображения посева с координатной GPS-привязкой каждого кадра. В каждом техническом испытании получено не менее 100 изобра-

жений, скорость съемки – четыре кадра в секунду, длина линии опробования – около 200 м. Общая схема проведения технического эксперимента приведена в таблице 1.

Оптический комплекс установлен на вылете штанги в 6,0 м от продольной оси опрыскивателя, на высоте 1,0 м от поверхности поля. Для контроля качества съемки и определения фактических размеров изображенных участков на поле размещены маркеры: две рамки размером 40×40 см и маркированная лента длиной 2 метра (рис. 4). Движение агрегата в каждом испытании происходило по одному и тому

**Таблица 1 – Описание технического эксперимента оценки работы оптического комплекса в полевых условиях**

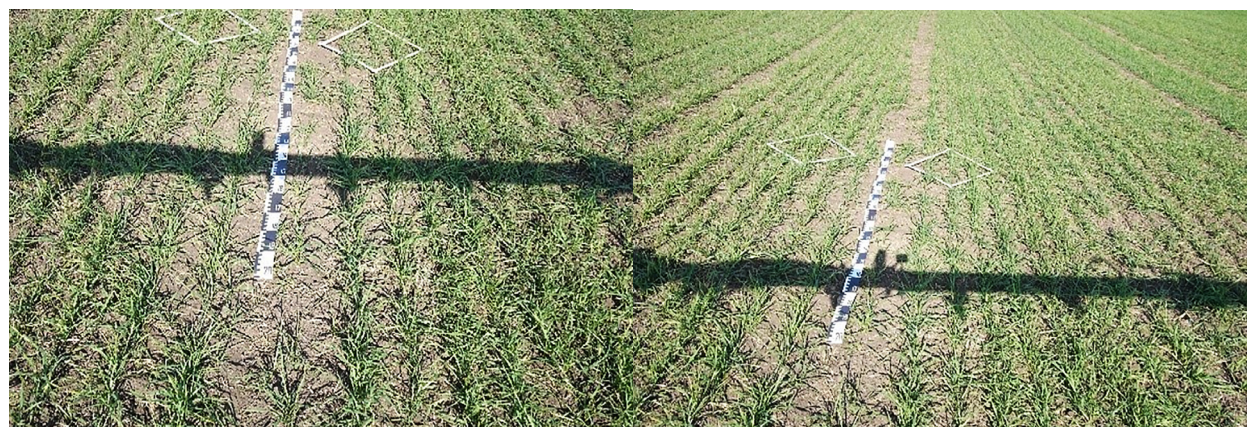
Номер испытания	Угол наклона камеры оптического комплекса	Скорость движения агрегата, км/ч	Количество кадров за секунду
1	0	13	4
2	0	15	4
3	0	17	4
4	30	13	4
5	3	15	4
6	30	17	4
7	45	13	4
8	45	15	4
9	45	17	4

**Рисунок 4 – Размещенная в посевах на линии движения агрегата маркированная лента и рамки**

же участку поля (линия опробования), во время движения производилась автоматическая запись результатов фотосъемки посевов на карту памяти с одновременной записью GPS-координат каждого снимка.

В ходе проведенных экспериментов было получено достаточное количество изображений посевов при различных значениях комбинаций параметров съемки, которые позволят провести обработку методами искусственного интеллекта и выявить наиболее подходящие варианты (способы) съемки посевов для целей определения засоренности.

В работе угловое положение камеры было ограничено величиной  $45^\circ$  (отклонение от вертикали). Увеличение угла наклона приводит к снижению реального пространственного разрешения изображения. Пример изображений при углах наклона оси зрения камеры  $45^\circ$  и  $60^\circ$  представлен на рисунке 5. Увеличение более чем вдвое фактического размера (в направлении движения агрегата) зафиксированной на одном кадре поверхности поля при увеличении угла наклона оси зрения камеры с  $45^\circ$  до  $60^\circ$  приводит к соответствующему снижению пространственного разрешения.



а)

б)

а)  $\varphi = 45^\circ$ ; б)  $\varphi = 60^\circ$

**Рисунок 5 – Пример полученного фотоизображения при различном угле наклона оси зрения камеры**

**Результаты и обсуждение.** Съемка производилась при значении фокусного расстояния объектива 8 мм при отсутствии программного масштабирования, что соответствует фокусному расстоянию 24 мм для эквивалентной 35-мм матрицы.

При таких значениях фокусного расстояния угол зрения камеры составляет от  $60^\circ$  по короткой стороне кадра до  $80^\circ$  по длинной. Расстояние  $AA'$ , проходимое агрегатом за время между двумя соседними кадрами, должно быть меньше или равно высоте  $L$  «трапеции» кадра. Фактическая длина линии  $L$ , зафиксированной по короткой стороне кадра, зависит как от угла наклона камеры к вертикали  $\varphi$ , так и от высоты ее расположения  $h$  на агрегате (рис. 6). Данная поверхность при  $A = 60^\circ$  описывается выражением (4):

$$L = h \left[ \operatorname{tg} \left( \varphi + \frac{\pi}{6} \right) - \operatorname{tg} \left( \varphi - \frac{\pi}{6} \right) \right] = h \frac{\sqrt{3}}{3 - 4 \sin^2 \varphi} \quad (4)$$

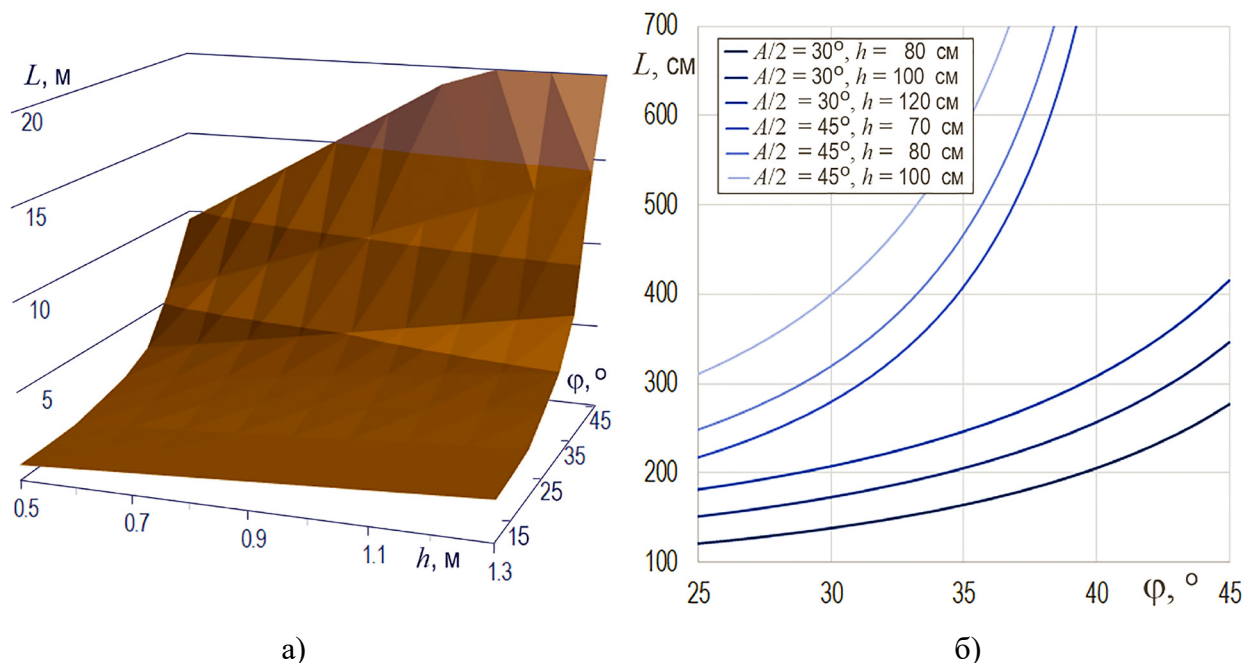
где  $\varphi$  – угол наклона камеры к вертикали;  
 $h$  – высота расположения камеры на агрегате, см.

Выразив время  $t$  из (1) и подставив его в (3) с учетом (4), получим выражение (5), позволяющее находить минимально необходимое количество кадров съемки за секунду (рис. 7) при различных сочетаниях скорости движения и расположении камеры (высота и угол наклона к вертикали):

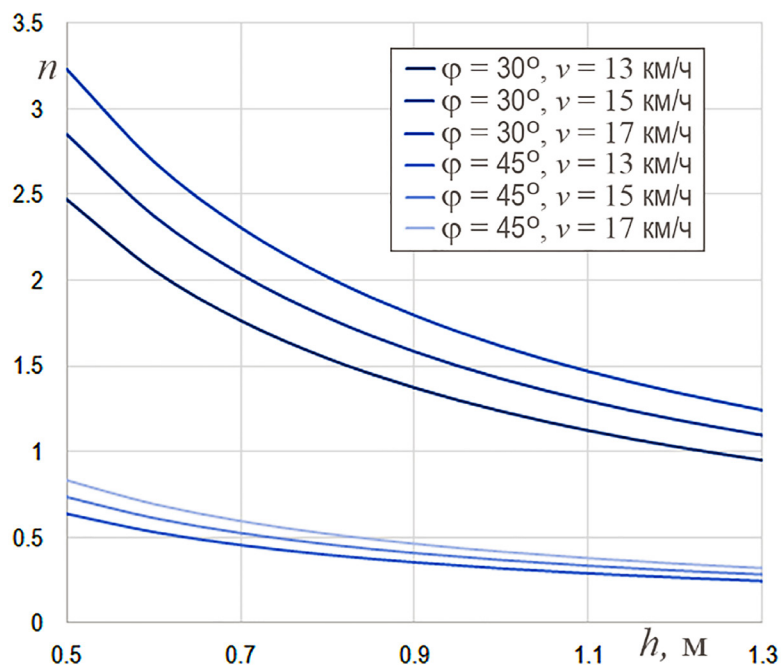
$$\min n = \frac{1}{t} = \frac{v}{L} = \frac{v}{h} \left[ \frac{\cos 2\varphi + \cos A}{2 \sin A} \right] \quad (5)$$

С увеличением высоты расположения оптического комплекса на штанге опрыскивателя требуемая частота кадров снижается. Например, при скорости движения агрегата 15 км/ч и высоте установки камеры 50 см над уровнем поля, необходимая частота кадров составляет 2,85 и 0,73 кадра в секунду для углов установки камеры к вертикали  $\varphi = 30^\circ$  и  $45^\circ$  соответственно. При увеличении высоты установки до 100 см требуемое количество кадров снижается до 1,42 и 0,37 кадра в секунду. Но снижение необходимого числа кадров сопровождается также кратным падением пространственного разрешения съемки, что в дальнейшем не позволит проводить качественную обработку полученных изображений.

На фотоизображениях, полученных во время движения агрегата с оптическим комплексом вдоль линии опробования, визуально отчетливо идентифицируются всходы зерновых и сорные растения. Детальность снимка (разрешение) составляет  $4\ 800 \times 3\ 200$  пикс., при этом один снимок покрывает площадь поверхности поля (трапецию) шириной 2,5–4,0 м и длиной 2,0–3,0 м. Следовательно, один пиксель изображения соответствует на короткой стороне «трапеции» кадра 1–2 мм на мест-



а) б)  
**Рисунок 6 – Зависимость: а) размера короткой стороны кадра от угла наклона оси зрения камеры и высоты ее расположения при значении угла зрения камеры  $A = 60^\circ$ ; б) длины короткой стороны кадра от угла установки камеры при различных углах зрения объектива**



**Рисунок 7 – Зависимость минимального необходимого количества снимаемых за секунду кадров от высоты расположения камеры при движении агрегата с различными скоростями для двух значений угла установки камеры**



ности (на поверхности земли), что позволяет достоверно выявлять на снимке и идентифицировать сорные и культурные растения размером от 1 см<sup>2</sup>.

Все растения на полученных снимках визуальнo отчетливо просматриваются при различных углах наклона камеры (рис. 8). Для целей точного позиционирования и определения координат сорных растений с точностью до размера площади, покрываемой факелом распыления форсунки опрыскивателя, следует работать при углах установки камеры не более 45°.

Качество полученных фото позволяет проводить сегментацию снимка, выделение фрагментов для настройки автоматического распознавания присутствия сорных видов методами искусственного интеллекта. В дальнейшем, при обработке изображений для создания файла-предписания на опрыскивание следует избрать такую меру дискретности координатной сетки шейп-файла, чтобы одна клетка (пиксель карты-предписания) соответствовала одному впрыску факела единичной форсунки опрыскивателя. Качество полученных в ходе эксперимента фотоизображений и точность их географических координат позволяют это сделать.

**Выводы.** 1. Для достижения высокого качества фотосъемки посевов с целью распознавания сорных растений необходимо согласование скорости движения агрегата и частоты кадров съемки. При увеличении скорости движения частота кадров должна также повышаться.

2. Угол наклона камеры и высота ее расположения влияют как на информативность изображения, так и на требуемую частоту кадров фотосъемки. Увеличение высоты расположения камеры на агрегате приводит к уменьшению необходимой частоты кадров, но при этом снижается пространственное разрешение и эффективность определения присутствия целевых объектов в посевах.

3. Полученные зависимости позволяют определять необходимые сочетания параметров и режимов съемки для обнаружения и идентификации сорняков в посевах культур. Оптимальными значениями для достоверного определения засоренности посевов зерновых культур в начальные фазы развития (включая фазу кущения) являются следующие показатели съемки: скорость – не менее 4 кадров в секунду, угол наклона оптической оси камеры – не более 45° к вертикали.



**Рисунок 8 – Фрагменты фотоизображения по результатам съемки под разными углами расположения камеры:**

- а) в посеве озимой пшеницы с низкой засоренностью, угол наклона камеры 30°;**  
**б) в посеве овса с высокой засоренностью, угол наклона камеры 45°**

**Список источников**

1. Беляев В. И., Вольнов В. В., Соколова Л. В. Прямой посев зерновых культур в Алтайском крае: совершенствование агротехнологий, системы машин и обоснование рациональных параметров. Барнаул : Алтайский государственный аграрный университет, 2020. 180 с.
2. Grunwald L.-C., Belyaev V. I., Meinel T. Improving efficiency of crop protection measures. A technical contribution for better weed control, less pesticide use and decreasing soil tillage intensive in dry farming regions exposed to wind erosion. Switzerland : Springer, 2020. P. 393–406.
3. Беляев В. И., Тагильцев А. В. Техническое обеспечение дифференцированного внесения средств защиты растений // Аграрная наука – сельскому хозяйству : материалы XV междунар. науч.-практ. конф. Барнаул : Алтайский государственный аграрный университет, 2020. С. 11–13.
4. Михайленко И. М., Воронков И. В. Методы обнаружения сорняков, болезней и вредителей растений по данным дистанционного зондирования // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. № 3. С. 72–83.
5. Esposito M., Crimaldi M., Cirillo V. Drone and sensor technology for sustainable weed management : a review // Chemical and Biological Technologies in Agriculture. 2021. No. 8. P. 18.
6. Разработка оптического датчика наличия сорных растений / А. В. Калачев, М. Е. Пелихов, А. И. Новиченко, А. М. Лещев // Природообустройство. 2018. № 5. С. 114–118.
7. Автоматизированное обнаружение сорняков и оценка качества всходов сельскохозяйственных культур по RGB-изображениям / В. В. Альт, И. А. Пестунов, П. В. Мельников, О. В. Ёлкин // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2018. № 48 (5). С. 52–60.
8. Rakhmatulin I., Andreasen C. A concept of a compact and inexpensive device for controlling weeds with laser beams // Agronomy. 2020. Vol. 10. No. 10. P. 1616.
9. Weed detection in perennial ryegrass with deep learning convolutional neural network / J. Yu, A. W. Schumann, Z. Cao [et al.] // Frontiers in Plant Science (Sec. Technical Advances in Plant Science). 2019. Vol. 10. No. 1422.
10. Роботы против сорняков // Телеканал «Наука». URL: <https://naukatv.ru/articles/345> (дата обращения: 10.10.2022).
11. Погоньшев В. А., Погоньшева Д. А., Ториков В. Е. Нейронные сети в цифровом сельском хозяйстве // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. 2021. № 5 (87). С. 68–71.

**References**

1. Belyaev V. I., Volnov V. V., Sokolova L. V. *Prямoi posev zernovykh kul'tur v Altaiskom krae: sovershenstvovanie agrotekhnologii, sistem mashin i obosnovanie ratsional'nykh parametrov [Direct sowing of grain crops in the Altai region: improvement of agricultural technologies, machine systems and substantiation of rational parameters]*, Barnaul, Altajskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet, 2020, 180 p. (in Russ.).
2. Grunwald L.-C., Belyaev V. I., Meinel T. Improving efficiency of crop protection measures. A technical contribution for better weed control, less pesticide use and decreasing soil tillage intensive in dry farming regions exposed to wind erosion, Switzerland, Springer, 2020. PP. 393–406.

3. Belyaev V. I., Tagiltsev A. V. Tekhnicheskoe obespechenie differentsirovannogo vneseniya sredstv zashchity rastenii [Technical support for the differentiated application of plant protection products]. Proceedings from Agrarian science – agriculture: *XV Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya – XV International Scientific and Practical Conference*. (PP. 11–13), Barnaul, Altajskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet, 2020 (in Russ.).

4. Mikhailenko I. M., Voronkov I. V. Metody obnaruzheniya sornyakov, boleznei i vreditel'ei rastenii po dannym distantsionnogo zondirovaniya [Methods for detecting weeds, diseases and pests of plants according to remote sensing data]. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa. – Modern problems of remote sensing of the Earth from space*, 2016; 13; 3: 72–83 (in Russ.).

5. Esposito M., Crimaldi M., Cirillo V. Drone and sensor technology for sustainable weed management: a review. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 2021; 8: 18.

6. Kalachev A. V., Pelikhov M. E., Novichenko A. I., Leshchev A. M. Razrabotka opticheskogo datchika nalichiya sornykh rastenii [Development of an optical sensor for the presence of weeds]. *Prirodoobustroistvo. – Environmental Engineering*, 2018; 5: 114–118 (in Russ.).

7. Alt V. V., Pestunov I. A., Melnikov P. V., Elkin O. V. Avtomatizirovannoe obnaruzhenie sornyakov i otsenka kachestva vskhodov sel'skokhozyaistvennykh kul'tur po RGB-izobrazheniyam [Automated detection of weeds and assessment of the quality of seedlings of agricultural crops using RGB images]. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki. – Siberian Bulletin of Agricultural Science*, 2018; 48; 5: 52–60 (in Russ.).

8. Rakhmatulin I., Andreasen C. A concept of a compact and inexpensive device for controlling weeds with laser beams. *Agronomy*, 2020; 10; 10: 1616.

9. Yu J., Schumann A. W., Cao Z., Sharpe S. M., Boyd N. S. Weed detection in perennial ryegrass with deep learning convolutional neural network. *Frontiers in Plant Science (Sec. Technical Advances in Plant Science)*, 2019; 10; 1422.

10. Roboty protiv sornyakov [Robots against weeds]. *Naukatv.ru* Retrieved from <https://naukatv.ru/articles/345> (Accessed 10 October 2022) (in Russ.).

11. Pogonyshev V. A., Pogonysheva D. A., Torikov V. E. Neironnye seti v tsifrovom sel'skom khozyaistve [Neural networks in digital agriculture]. *Vestnik Bryanskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii. – Bulletin of the Bryansk State Agricultural Academy*, 2021; 5; 87: 68–71 (in Russ.).

© Беляев В. И., Железова С. В., Кузнецов В. Н., Степанова Е. В., Прокопчук Р. Е., 2022

Статья поступила в редакцию 28.10.2022; одобрена после рецензирования 17.11.2022; принята к публикации 23.11.2022.

The article was submitted 28.10.2022; approved after reviewing 17.11.2022; accepted for publication 23.11.2022.

**Информация об авторах**

**Беляев Владимир Иванович**, доктор технических наук, профессор, Алтайский государственный аграрный университет, [prof-belyaev@yandex.ru](mailto:prof-belyaev@yandex.ru);

**Железова Софья Владиславовна**, доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии, [soferrum@mail.ru](mailto:soferrum@mail.ru);

**Кузнецов Василий Николаевич**, кандидат технических наук, доцент, Алтайский государственный аграрный университет, [Kusnezow-VN@yandex.ru](mailto:Kusnezow-VN@yandex.ru);

**Степанова Евгения Вячеславовна**, кандидат физико-математических наук, научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии, [jacky-st@yandex.ru](mailto:jacky-st@yandex.ru);

**Прокопчук Роман Евгеньевич**, кандидат технических наук, Алтайский государственный аграрный университет, [roman.prokopchuk.2015@mail.ru](mailto:roman.prokopchuk.2015@mail.ru)

**Information about authors**

**Vladimir I. Belyaev**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Altai State Agricultural University, [prof-belyaev@yandex.ru](mailto:prof-belyaev@yandex.ru);

**Sofya V. Zhelezova**, Doctor of Agricultural Sciences, Leading Researcher, All-Russian Research Institute of Phytopathology, [soferrum@mail.ru](mailto:soferrum@mail.ru);

**Vasilii N. Kuznetsov**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Altai State Agricultural University, [Kusnezow-VN@yandex.ru](mailto:Kusnezow-VN@yandex.ru);

**Evgeniya V. Stepanova**, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Researcher, All-Russian Research Institute of Phytopathology, [jacky-st@yandex.ru](mailto:jacky-st@yandex.ru);

**Roman E. Prokopchuk**, Candidate of Technical Sciences, Altai State Agricultural University, [roman.prokopchuk.2015@mail.ru](mailto:roman.prokopchuk.2015@mail.ru)