

Решая данные равенства при заданных начальных условиях можно определить кинематические параметры движения капли:

- скорость  $v_k = v_{k0} \cdot \frac{\sin \gamma_{p0}}{\sin \gamma_p}$ ,

- координату по оси  $Ox$   $x = v_{k0} \cdot \sin \gamma_{p0} \cdot t$ ,

- координату по оси  $Oz$   $z = \frac{gt^2}{2} + v_{k0} \cdot \cos \gamma_{p0} \cdot t$ ,

- время падения с заданной высоты  $t = \frac{-v_{k0} \cdot \cos \gamma_{p0} + \sqrt{v_{k0}^2 \cdot \cos^2 \gamma_{p0} + 2 \cdot g \cdot z}}{g}$ ,

где  $v_{k0}$ ,  $\gamma_{p0}$  – начальные параметры вылета капли.

Полученные зависимости могут использоваться при сравнительном анализе полученных моделей движения капель для других условий падения.

Работа выполняется в соответствии с грантом Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований Т24МН-005.

#### Литература

1. Крук, И. С. Способы и технические средства защиты факела распыла от прямого воздействия ветра в конструкциях полевых опрыскивателей / И. С. Крук, Т. П. Кот, О. В. Гордеенко. – Минск : БГАТУ, 2015. – 284 с.
2. Защита растений в устойчивых системах землепользования: в 4 кн. / под общ. ред. Д. Шпаара. – Минск : Орех, 2004. – Кн. 4. – 374 с.
3. Клочков, А.В., Маркевич, А.Е. Механизация химической защиты растений : монография / А.В. Кочков, А.Е. Маркевич. – Горки: БГСХА. – 2008. – 228 с.
4. Гордеенко, О.В. Повышение эффективности ухода за посевами овощных культур на гребнях совершенствованием оборудования для ленточного внесения гербицидов: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / О.В. Гордеенко. – Горки, 2004. – 169 с.

УДК 621.313

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ БИОМАССЫ ПЛОЩАДИ ПОСЕВА С ПОМОЩЬЮ ЕЕ ЦИФРОВОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ**

**Черных А.Г.**, к.т.н., доцент

Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, п. Молодежный

Широкие возможности, предоставляемые современными цифровыми технологиями, позволяют существенно расширить методики прогноза текущей урожайности для большинства возделываемых сельскохозяйственных культур в процессе их вегетационного периода. В частности на величину возможного урожая оказывает существенное влияние выбранная технологическая схема, как правило, программируемого возделывания культуры. Например, обеспечение оптимальной величины вносимой в почву влаги. Величина вносимой влаги определяет энергию на транспортировку водным раствором питательных веществ во все части растения, которая влияет на увеличение зеленой массы связанной с ее ростом. Цифровые технологии позволяют оценить текущую величину биомассы для выбранной единицы площади посева с помощью ее цифрового изображения. Условная единица площади посева, как правило, определяется общей площадью и геометрической формой орошаемой площади в соответствующей плоскости на земной поверхности. При орошении площади посева дождевальными машинами кругового движения относительно центральной поворотной башни, целесообразно в качестве условной единичной площади выбирать

## Секция 1: Технологии и техническое обеспечение сельскохозяйственного производства

замкнутые кольцевые фигуры. При этом, для каждого из колец радиусы пары соответствующих концентрических окружностей связаны с расположением и определяются удалением двух смежных дождевателей на основном трубопроводе дождевальной машины от центральной поворотной башни. Другими словами, необходимо исследовать набор кольцевых фигур, каждая из которых имеет достаточно большую площадь, на предмет плотности и однородности находящейся в пределах ее площади однородной массы. Очевидно, что с учетом низкой угловой скорости вращения центральной поворотной башни и, как следствие, вращения основного трубопровода машины целесообразно в процессе обследования использовать мобильные средства, например, беспилотные летательные аппараты (БПЛА) [3]. Оборудованные современной профессиональной измерительной и вычислительной аппаратурой БПЛА позволяет визуализировать восприятие атрибутов урожая и дистанционно определить урожай биомассы обследуемой сельскохозяйственной культуры [1].

Использование БПЛА на базе портативных беспилотных технологий – Mavic 2 Pro позволяет производить облет исследуемой площади (кольца) по кругу (функция Trace) на высоте 2,3 метра. С помощью цифровой камеры в режиме фотосъемки для интервалов времени, удовлетворяющих дискретному ряду 2/3/5/7/10/15/20/30/60 секунд, получить соответствующий массив изображений в формате JPEG. Полевой эксперимент по применению БПЛА проводился на пахотных землях орошаемых с помощью широкозахватной круговой дождевальной машины (ШКДМ) фирмы T-L Irrigation company [2]. Конструкция ШКДМ состоит из центральной поворотной башни (ЦПБ) и одиннадцати опорных тележек. Расстояния между элементами конструкции ШКДМ приведены в таблице 1.

Таблица 1– Удаление самоходных тележек многоопорной дождевальной машины кругового действия от центральной поворотной башни

№ тележки	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	концевая пушка
Расстояние, м	48	102	156	210	264	318	372	426	480	534	588	608,9

При линейной скорости полета БПЛА равной 2,5 м/сек и его удалении на расстоянии 600 метров относительно ЦПБ, время облета кольца составит 1500 секунд. Для интервала времени в 2 секунды можно получить 750 снимков биомассы в исследуемом кольце. Для каждого локального снимка необходимо составить цветовой профиль в цветовом пространстве RGB (рисунок 1), а затем рассчитать нормализованный разностный вегетационный индекс (NDVI – Normalised Difference Vegetation Index [4]) по выражению

$$NDVI = \frac{G - R}{G + R}$$



Рисунок 1 – Цветовой профиль для участков орошения соответствующих системам почва-растительность (а) и почва (б)

Далее необходимо, косвенным способом вычислить количество биомассы, соотнесенной с каждым из полученных цветовых профилей можно с использованием выражения

$$VVI = \left[ \left( 1 - \left| \frac{R - R_0}{R + R_0} \right| \right) \left( 1 - \left| \frac{G - G_0}{G + G_0} \right| \right) \left( 1 - \left| \frac{B - B_0}{B + B_0} \right| \right) \right].$$

где R, G, B – красный, зелёный и синий каналы изображения (целые числа от 0 до 250),  $R_0=1$ ,  $G_0=58$ ,  $B_0=24$  – эталонные значения каналов R, G, B для цветовой схемы типа «моно» [5].

После расчета NDVI для каждого из 750 снимков, необходимо сравнить каждую расчетную величину с некоторым эталонным значением. В качестве эталонного принимается величина NDVI, которая позволяет оценить урожайность биомассы в пределах рассматриваемого кольца, выраженная числом с размерностью кг/га. Для определения NDVI в этом случае используется портативный ручной датчик биомассы GreenSeeker от Trimble, модель HSC-100. Данный датчик крепится к корпусу рассмотренного ранее типа БПЛА. В соответствии с техническими условиями датчик, расположенный на корпусе БПЛА может перемещаться на высоте не более 1,2 метра от поверхности земли и линейной скорости движения не выше 0,6 м/сек. Соответственно время облета увеличится до 6000 секунд. При интервале между смежными измерениями в 60 секунд, можно получить 100 измерений текущего значения NDVI с помощью портативного датчика биомассы. Каждое из полученных измерений можно считать эталонным для полученных ранее 7 снимков. Однако в практических целях целесообразно сравнивать некоторое среднее значение NDVI на базе имеющихся 100 измерений с каждым из 750 значений NDVI соответствующих цифровым профилям.

Предложенный алгоритм определения биомассы на площади посева отличается достаточной простотой и экономичностью и позволяет выявить и определить месторасположение разряженных относительно поверхностной плотности зеленой биомассы участков на орошаемой поверхности.

*Благодарности: Автор выражает благодарность директору КФХ «ИП Кичигина Л.П.», Иркутская область, Усолье-Сибирское, село Мальта за помощь в проведении настоящих исследований. Работа проводится в рамках хоздоговорной научно-исследовательской работы «Разработка и исследование системы дождевания с переменной интенсивностью дождя в закрытых оросительных системах применительно к технологиям точного и прецизионного орошения».*

#### Литература

1. Черных А.Г. Оценка величины зеленой массы на единицу площади посева с помощью наземной цифровой фотосъемки // «Аграрная наука – сельскому хозяйству», материалы XIX Международной научно-практической конференции текстовое электронное издание / – Барнаул: ФГБОУ ВО Алтайский государственный аграрный университет, 2024. – С.136-138.
2. Черных А.Г. Структура и состав закрытой системы орошения механическим подъемом воды и поливом широкозахватными круговыми дождевальными машинами / А.Г. Черных // Ежеквартальный научный журнал «Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета», 2022, №4 (69), – С. 171-183.
3. Сметнев А.С. Использование беспилотных летательных аппаратов в сельскохозяйственном производстве / А.С. Сметнев, В.К. Зимин, Ю.Б. Юдин, И.Н. Скобеев // Вестник Российского государственного аграрного заочного университета им. В.И. Вернадского, 2015, – №18 (23), – С. 51-56.
4. Черепанов А.С. Вегетационные индексы: справочные материалы // Геоматика. – 2011. – № 2. – С. 98-102.
5. Старовойтов В.В. Цифровые изображения: от получения до обработки / В.В. Старовойтов, Ю.И. Голуб. – Минск: ОИПИ НАН Беларуси, 2014.– 202 с.