

UDC 574.42:631/635:502/504

Gulyanov Yu. A.

### **Correlation of the vegetation index (NDVI) and phytometric parameters at different stages of field crops development**

**Summary.** The main goal of our research was to identify the relationship between the normalized difference vegetation index (NDVI) and the area of assimilation surface (AS) of spring wheat crops during the growing season, as well as to develop practical application of the findings. Throughout the growing season, the area of assimilation surface of *T. aestivum* increases much faster than the vegetation index NDVI. The smallest AS (282.7 m<sup>2</sup>/ha), which corresponded to 0.01 units of the NDVI (calculated factor) was observed during the tillering stage. It reaches its maximum values – 331.7–406.1–383.7 m<sup>2</sup>/ha (1.20–1.47–1.39 times higher) from stem elongation to the end of flowering. During the grain filling and maturation, these values decrease to 336.2 m<sup>2</sup>/ha but still are 1.19 times higher than the initial ones.

**Keywords:** vegetation index (NDVI), digital agriculture.

**DOI 10.33952/2542-0720-2020- 5-9-10-124**

УДК 631.58:551.5

Михайленко Илья Михайлович, Малыгин Виталий Дмитриевич

**Управление агротехнологиями в реальном времени**

ФГНБУ «Агрофизический научно-исследовательский институт»

e-mail: ilya.mihailenko@yandex.ru

В работе [1] представлена общая концепция управления агротехнологиями, согласно которой общая задача управления включает в себя четыре уровня задач, решаемых в разные масштабы времени. На верхнем 1-ом уровне решается задача управления севооборотами в годовом масштабе времени; на 2-м уровне, реализуемом в суточном масштабе времени на одном интервале вегетации, решается задача программного управления; задачи 3-го и 4-го уровней реализуются в реальном времени. Программное управление представляет собой последовательность технологических операций, выполняемых в течение всего вегетационного периода, как правило в моменты смены наиболее характерных фенологических фаз [2]. В состав этих операций входит внесение минеральных удобрений, регуляторов роста и поливы посевов культур. Параметры этих операций определяются для средних многолетних значений климатических условий и параметров используемых математических моделей, полученных по экспериментальным данным предшествующего сельскохозяйственного сезона. В силу стохастической природы климатические условия всегда не соответствуют средним многолетним значениям, а параметры математических моделей возмущаются за счет изменений физических и химических параметров растений и почвенной среды. Управление в реальном времени, как раз и призвано компенсировать все вышеуказанные возмущения и неопределенности. Более строго его задачами являются:

- уточнение оптимальных программ управления при обнаружении факта существенного отклонения климатических условий от расчетных значений, по которым синтезировался текущий вариант оптимальной программы управления;
- уточнение оптимальных программ управления при обнаружении факта существенного отклонения параметров используемых математических моделей;
- реализация во времени технологических операций по факту наступления фенологических фаз;
- коррекция параметров технологических операций, в связи с пространственной неоднородностью параметров состояния посевов и почвенной среды.

Целью доклада является представление общей теории управления агротехнологией в реальном времени, включающей в себя структуру системы управления, модели и алгоритмы, направленные на решение приведенных выше задач.

Уточнение оптимальных программ управления по фактам существенного отклонения климатических условий от расчетных значений, а также при отклонениях параметров используемых математических моделей осуществляется путем оценивания вариаций критерия оптимальности программного управления и сравнения их с заданными пороговыми значениями. При этом в силу сложной двухэтапной задачи синтеза оптимальных программ управления выделение вариаций критерия оптимальности осуществляется численной процедурой путем многократного решения задачи программного управления для различных условий.

В исходных оптимальных программах управления моменты времени выполнения технологических операций связаны с моментами смены наиболее характерных фенофаз, которые принимаются равными средним многолетним значениям для конкретных культур и их сортов, представляющим собой временные шкалы [2]. В силу зависимости времени и скорости наступления фенофаз от климатических условий, реальные моменты наступления фенофаз, как и длительность межфазных периодов, могут не совпадать с расчетными значениями, что приводит к дополнительным потерям оптимальности управляющих программ. Эта ситуация может быть исправлена в случае обнаружения моментов фактического наступления фенофаз, что может быть реализовано по данным дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). В связи с тем, что смена фенофаз на отдельных растениях посева происходит не одновременно, то общий переход на следующую фенофазу занимает определенное время, до момента времени, когда число растений сменивших фенофазу превышает 70%. Такому порогу соответствует определенное сочетание параметров отражения на всех используемых спектральных каналах. Такое сочетание отражается в параметрах алгоритмов распознавания фенофаз [3].

Процедура пространственной коррекции параметров технологических операций в оптимальных программах управления осуществляется с учетом реального состояния посевов и почвенной среды и может быть представлена в следующем виде

$$U_i(t, x, y) = V_i^*(t) + B_i^T(X_i^*(t) - \hat{X}_i(t, x, y)) - \hat{V}_i(t, x, y),$$

где:  $V^*(t)$  – средний по площади поля вектор технологических воздействий (операций), представляющий откорректированную в реальном времени программу управления;  $X^*(t)$  – средняя по площади поля оптимальная программа развития вектора параметров состояния посева, соответствующая оптимальной программе управления;

$\hat{X}(t, x, y)$  – оценка вектора параметров состояния посева в момент проведения технологических операций,  $\hat{V}(t, x, y)$  – оценка векторов параметров состояния почвенной среды в момент проведения технологических операций,  $B_i$  – матрицы корректирующих регуляторов технологических операций;  $x, y$  – пространственные координаты элементарного участка, на котором реализуются технологические воздействия,  $i$  – индекс фенофазы.

Как видно из выражения (1), локальное управление на отдельном элементарном участке (площадью 1,5–2,0 м<sup>2</sup>) скалывается из трех компонентов. Первый, одинаковый по всей площади – это оптимальная программа; второй компонент – коррекция по оценке реального состояния параметров посева; третья компонента – коррекция по реальному содержанию питательных элементов и влагозапаса почвы.

Для реализации такого 3-х-компонентного управления необходимы параметры корректирующих регуляторов  $B_i$ . Для построения матриц этих параметров необходимо

многократное решение задачи программного управления с различными значениями векторов параметров состояния посевов на фенофазах, на которых осуществляется программное управление. По вариациям этих векторов и вариациям параметров технологических операций осуществляется оценивание параметров матриц  $B_i$ .

Управление агротехнологиями в реальном времени предназначено для реализации и коррекции оптимальных программ управления, сформированных перед началом периода вегетации сельскохозяйственных культур. Коррекция программ связана с фактическими изменениями метеофакторов и параметров используемых математических моделей, по сравнению с исходными, для которых формировались оптимальные программы. Кроме того, на уровне управления в реальном времени осуществляется пространственная коррекция параметров технологий по реальному состоянию параметров посева и почвенной среды, оцениваемому по данным дистанционного зондирования Земли.

*Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (проект № 18-016-00008).*

#### Литература

1. Михайленко И. М. Теоретические основы и техническая реализация управления агротехнологиями. СПб.: Изд. СПбГТУ, 2017. 250 с.
2. Михайленко И. М., Тимошин В. Н. Программное управление посевами яровой пшеницы с учетом фенофаз // Евразийский журнал. 2019. № 8 (65). Ч. 4. С.12–18.
3. 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. 122–133.

UDC 631.58:551.5

Mikhailenko I. M., Malygin V. D.

#### Real-time agricultural technology management

**Summary.** In this paper, we consider the task of real-time control of agricultural technologies, using which the optimal control programs are refined by the fact that the real values of the meteorological parameters deviate from the calculated values; disturbances in the parameters of all the mathematical models used are compensated. The most important real-time control function is the spatial correction of control programs according to the actual state of crops and soil environment estimated according to the data of remote sensing of the Earth.

**Keywords:** precision farming, agricultural technology management, control concept, remote sensing of the Earth.

DOI 10.33952/2542-0720-2020- 5-9-10-150

УДК 338.43

Попович Валентина Владимировна

#### Статистическая оценка уровня состояния и развития сельхозтерриторий Республики Крым

ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»  
e-mail: valentina\_v\_p@mail.ru

Сельское хозяйство является ведущей отраслью агропромышленного комплекса Республики Крым. Устойчивое развитие сельскохозяйственных территорий является важной задачей обеспечения продовольственной безопасности страны, а также обеспечения качественной сельхозпродукцией не только жителей Крыма, но и многочисленных отдыхающих. Поэтому анализ уровня состояния агрокомплекса Республики и возможности его развития являются необходимой задачей, которую решает статистика сельского хозяйства. Основные направления статистики сельского хозяйства сбор, обработка и анализ статистических данных, характеризующих состояние сельского хозяйства, что позволяет выделить