

## Мониторинг урожайности зерновых культур в технологиях точного земледелия

Станислав Смолинский

*Национальный университет биоресурсов и природопользования*

Одним из важных показателей, характеризующих биоценоз, является урожайность сельскохозяйственных культур. Данные урожайности используются для составления историй полей, построения карт на внесение минеральных удобрений и т.д. В большинстве случаев в технологиях точного земледелия определяется только урожайность зерна. Но поскольку солома является важной составляющей всего биологического урожая, важно учитывать ее урожайность. В результате проведенных исследований установлено влияние суммарного содержания энергии в урожае зерновых культур на урожайность в следующем году.

*Зерновые культуры, урожайность, солома, содержание энергии, зерноуборочный комбайн*

### Вступление

Важной характеристикой сельскохозяйственных культур в технологиях точного земледелия является урожайность, которая определяет массу полученного урожая с единицы площади поля. Поэтому, весьма важным является использование точных методов мониторинга урожайности сельскохозяйственных культур, поскольку это позволит обеспечить реализацию дифференцированного внесения технологических материалов по поверхности поля и необходимый уровень урожайности в последующие годы, а также определяет подачу технологического материала на рабочие органы уборочных машин и качество выполнения технологического процесса. Для этого современные зерноуборочные комбайны оборудуются системой мониторинга и картирования урожайности зерна с одновременной фиксацией географических координат с помощью оборудования GPS (Noack, 2006; Ehlert et al., 2004; Rösch et al., 2005; Shelestov et al., 2013 и др.).

Вопросам анализа структуры и реализации технологий точного земледелия, а также мониторинга урожайности сельскохозяйственных культур посвящены многие публикации.

Существующие методы определения урожайности сельскохозяйственных культур, в том же числе и зерновых, проанализированы в работе Шниттманна (Schmittmann, 2002). В другой работе (Aniskevych et al., 2010) обоснована возможность достаточно точного прогнозирования урожайности зерна в период полной зрелости на основании данных в период молочной зрелости.

В работе Арслана и Колвина (Arslan and Colvin, 2002) были проанализированы технические средства контроля урожайности, среди которых можно выделить датчики объемного расхода, датчики импульса при ударе по пластине, датчики на основании гамма-излучения, тензодатчики и инфракрасные датчики. Кроме того известны также пьезодатчики, емкостные датчики, ультразвуковые датчики, датчик потока, рентгеновские и другие.

В большинстве случаев при мониторинге урожайности зерновых культур учитывается только урожай зерно. Но если рассматривать зерновые культуры как объект уборки, то их урожай состоит не

только с зерновой части (непосредственно зерно), но и незерновой части (то есть, соломы). Поэтому, при оценке урожайности зерновых культур в процессе уборки следует учитывать также и величину урожайности соломы, как важной составляющей общего урожая (на формирование урожая соломы идут затраты микроэлементов, времени и энергии, а также солома используется и как удобрение, и как сырье для производства топливных паллет либо непосредственного источника тепловой энергии) (Таркалсон и др., 2013).

*Цель этой работы* - обосновать принцип мониторинга зерновой и незерновой части урожая при работе зерноуборочного комбайна в технологиях точного земледелия с возможностью высокоточного прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур в следующие годы.

### Экспериментальные исследования

Для обоснования принципа мониторинга урожайности зерновой и незерновой части урожая зерновых культур были проведены полевые опыты по изучению характеристик пшеницы сорта *Национальная озимая*. При этом определяли урожайность зерна и соломы с 25 элементарных участков площадью 1 м<sup>2</sup> каждый (рис. 1) с привязкой к географическим координатам, которые равномерно расположены по полю площадью 55 га. Исследования проводились на протяжении двух лет на этих же участках. При этом было установлено, что урожайность зерна пшеницы в текущем году составляла 4,593±0,6804 т·га<sup>-1</sup>, соломы – 6,905±0,753 т·га<sup>-1</sup> (соломистость – 0,667±0,114), а урожайность зерна пшеницы в следующем году составляла 4,823±0,895 т·га<sup>-1</sup>.

С элементарного участка, координаты которого определялись при помощи высокоточного оборудования GPS, срезали все стебли пшеницы, выделяли зерно, после чего отдельно свешивали зерновую и незерновую часть урожая на весах с точностью до 0,01 г, а полученные результаты приводили к величине т·га<sup>-1</sup>.



Рис.1. Опытный элементарный участок поля  
Fig.1. Experimental elementary field area

Результаты опытов, которые представлены в виде графических зависимостей между урожайностью зерна в текущем и последующем годах (рис. 2), а также между урожайностью зерна и урожайностью соломы в текущем году (рис. 3), свидетельствуют, что четкой корреляционной связи между изучаемыми характеристиками пшеницы не было отмечено.

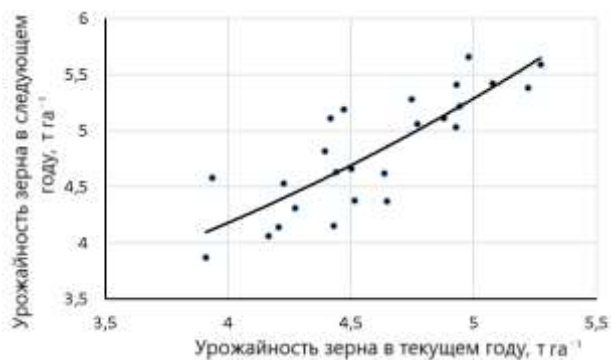


Рис. 2. Зависимость между урожайностью зерна в текущем году и урожайностью зерна в следующем году  
Fig. 2. Dependence between the grain yield in the current year and the yield of grain in the next year

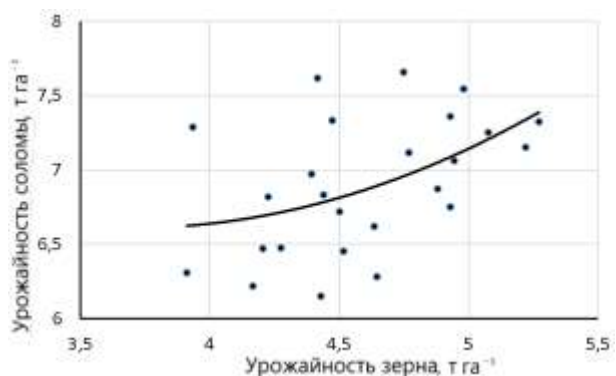


Рис. 3. Зависимость между урожайностью соломы и урожайностью зерна  
Fig. 3. Dependence between straw yield and grain yield

### Аналитические исследования

Целью аналитических исследований является установление модели для точного прогнозирования

урожайности зерновых культур, а также технических и технологических принципов реализации этой модели при работе зерноуборочных комбайнов.

В первом приближении примем, что на урожайность зерна пшеницы в следующем году существенное влияние имеет урожайность зерна и соломы в текущем году, а фактором, определяющим это влияние, является некоторая характеристика биопотенциала поля  $E$  в виде функции урожайности зерна  $U_1$  и соломы  $U_2$ :

$$E = E(U_1, U_2) = A_1 U_1 + A_2 U_2, \quad (1)$$

где  $A_1, A_2$  – эмпирические коэффициенты.

Для определения сущности эмпирических коэффициентов  $A_1$  и  $A_2$  был проведен многокритериальный анализ, в результате которого обосновано в качестве этих коэффициентов принимать энергоёмкость составляющих урожая (МДж/т) (Клюс, 2013). Поскольку энергоёмкость зерна пшеницы составляет 18710 МДж/т, а пшеничной соломы – 18380 МДж/т (Татарико, 2011), то выражение (1) примет вид:

$$E = 18710 U_1 + 18380 U_2. \quad (2)$$

На основании компьютерного эксперимента проанализируем возможность использования модели (2) для точного прогнозирования урожайности зерновых культур (в частности урожайности зерна озимой пшеницы). Для этого с помощью модели (2) в *MS Excel for Windows* провели анализ наличия корреляционной связи между полученным массивом значений характеристики биопотенциала  $E$  для 25 опытных точек поля и урожайностью зерна пшеницы для этих же точек в следующем году.

Результаты проведенного анализа приведены в виде графической зависимости между урожайностью зерна в следующем году и энергией урожая зерна в текущем году (рис. 4), которая подтверждает наличие тесной корреляционной связи между параметрами и доказывают целесообразность использования описанного принципа мониторинга урожайности зерновых культур с целью достаточно точной оценки полей и прогнозирования урожайности в следующем году.

Для технической реализации описанного принципа мониторинга урожайности зерновых культур необходимо оборудовать зерноуборочный комбайн бортовым компьютером, датчиками: высоты среза; скорости движения комбайна; подачи хлебной массы в жатку или молотилку; урожайности зерна при выгрузке в бункер. При этом дополнительно загружаются в бортовой компьютер комбайна расчетная модель, определенная величина общих потерь зерна и время запаздывания. Потери соломы на корню определяются на основании контроля высоты стеблей и величины высоты среза (Иксанов, 2016).

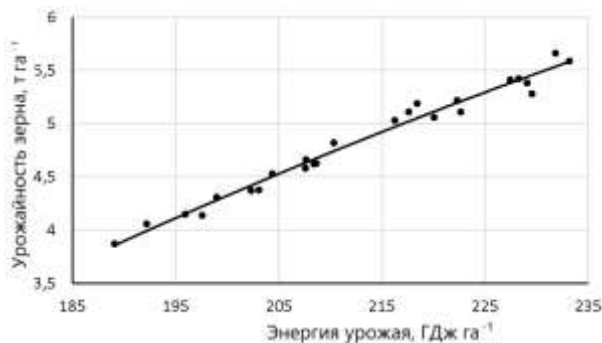


Рис. 4. Зависимость между урожайностью зерна в следующем году и энергией урожая зерна в текущем году

Fig. 4. Dependence between the grain yield in the next year and the energy of grain crop in the current year

Если характеристику сорта зерновых культур соломистость  $C$  как соотношение массы зерна в хлебной массе к массе соломы принять постоянной величиной для всей площади поля при определенных условиях, тогда выражение (1) примет вид:

$$E = \frac{U(A_1C + A_2)}{1 + C}. \quad (3)$$

Согласно выражениям (3) для достоверного прогнозирования урожайности достаточно в бортовой компьютер зерноуборочного комбайна загрузить убираемую культуру (определяет коэффициенты  $A_1$  и  $A_2$ ), а также среднее по полю значение соотношение массы зерна в хлебной массе к массе соломы  $C$ . В процессе уборки по величине подачи массы в жатку или молотилку, а также по соотношению высоты стеблей и высоты среза стеблестоя будет определяться урожайность зерновых культур в целом, а также отдельно зерновой и незерновой части урожая.

Предварительные опыты были проведены также и на других культурах и подтверждают возможность использования описанного принципа для точного мониторинга сельскохозяйственных культур в технологиях точного земледелия.

## Выводы

1. Для качественного анализа плодородия почв, использования полученной информации при

Stanislav Smolinskyi

### Monitoring of grain crops yield in precision farming

#### Summary

The yield of agricultural crops is one of the important parameter for valuation of field environment. The yield data are used to compile field histories, to make the maps for the application of mineral fertilizers, etc. Mainly in the precision farming is used only the yield of grain. But the straw is very important component in the biological yield of grain crops. During the research there are determined the influence of the total energy in the grain crops yield on the yield in the next year.

*Grain crops, yield, straw, energy content, grain harvester*

Received in March, 2018, submitted to printing in April, 2018

Stanislav SMOLINSKYI, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, doctor of technical sciences, assoc. prof. Address: Heroyiv Oborony St. 15, Kyiv, Ukraine, 03041. Tel (+38 067) 294 60 22, e-mail s\_smolinskyi@meta.ua

управлении урожайностью и прогнозировании ее значения в следующих годах важно учитывать урожайность как зерновой, так и незерновой части урожая зерновых культур в процессе уборки.

2. На основании результатов экспериментальных и аналитических исследований обоснован принцип прогнозирования урожайности в последующие годы в технологиях точного земледелия по характеристике биопотенциала поля в виде функции урожайности зерна и соломы.

#### Список литературы

1. ANISKEVYCH L., VOITYUK D., SMOLINSKYI S. Регулирование режимами функционирования уборочных машин по прогнозическим картограммам урожайности - MOTROL Motoryzacja i energetyka rolnictwa. T. 12. Lublin, 2010. - P. 15-22.
2. ARSLAN S., COLVIN T.S. Grain yield mapping: yield sensing, yield reconstruction, and errors. Precision Agriculture. June 2002, Volume 3, Issue 2, pp. 135-154.
3. EHLERT D., DAMMER K.-H., DOMSCH H., KRAMER E., LANGNER H.-R., SCHWANZ J. Stand und Perspektiven von Precision Agriculture-Techniken. Institut für Agrartechnik Bornim (ATB), 2004, 195 S.
4. NOACK P.O. Entwicklung fahrspurbasierter Algorithmen zur Korrektur von Ertragsdaten im Precision Farming. - Doctoral Dissertation. - Technischen Universität München, München, Germany: 2006. - 180 pp. (на нем. языке)
5. RÖSCH CH., DUSSELDORP M., MEYER R. Precision agriculture. TAB-Arbeitsbericht. Nr. 106, Berlin, 2005, 208 S.
6. SCHMITTMANN O. Teilflächenspezifische Ertragsmessung von Zuckerrüben in Echtzeit unter besonderer Berücksichtigung der Einzelrübenmasse. - Doctoral Dissertation. - University of Bonn; Bonn, Germany: 2002. - 250 pp. (на нем. языке)
7. SHELESTOV A.YU., KRAVCHENKO A.N., SKAKUN S.V., VOLOSHIN S.V., KUSSUL N.N. Geospatial information system for agricultural monitoring. Cybernetics and Systems Analysis. 2013, Volume 49, Issue 1, pp 124-132.
8. ИКСАНОВ Ш.С. Повышение эффективности прямого комбайнирования зерновых культур на примере комбайна РСМ-101 Вектор-410 в условиях Челябинской области. Диссертация. Челябинск, 2016. - 170 с.
9. КЛЮС С.В. Оценка энергоэффективности выращивания зерновых культур для производства биотоплива. Компрессорное и энергетическое машиностроение. 2013, №3 (33), с. 12-15 (на укр. языке)
10. ТАРКАЛСОН Д.Д., БРАУН Б., КОК Г., БЬОРНБЕРГ Д.Л. Последствия отчуждения соломы при возделывании пшеницы и ячменя: обзор литературы. Питание растений. 2013, №2, с. 2-5.
11. ТАТАРИКО Ю.О. Энергосберегающие агротехнологии. Оценка и рациональное использование агроресурсного потенциала Украины - К., ДИА, 2011. - 575 с. (на укр. языке)