

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЛИНИЙ ПРОИЗВОДСТВА САХАРНОЙ СВЕКЛЫ

**Б.И. Горбунов, М.Н. Денцов, А.В. Тюльнев**

*Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия,  
603107, Нижний Новгород, Российская Федерация*

**Аннотация.** В настоящее время важным критерием конкурентоспособности произведённой продукции является её энергоёмкость, которая зависит от оптимального использования технологических линий возделывания культуры. В данной работе изложены теоретические исследования по повышению эффективности технологий производства сахарной свеклы. В работе рассматривается алгоритм адаптации механизированных процессов возделывания и уборки сахарной свеклы к складывающимся природным и производственным условиям. Разработана математическая модель определения оптимальных энергетических затрат, обозначены условия, при которых будет действовать предложенная производственная модель, а также ограничения на ее использования. Предложенный алгоритм прошел проверку путем внедрения в производственный процесс. Эффективность его использования доказана проведенными экспериментальными исследованиями и имитационным моделированием.

**Ключевые слова:** алгоритм адаптации, сахарная свекла, техногенные ресурсы, технологическая система, энергетические затраты, энергетическая эффективность, условия производства.

**Введение.** Процесс производства сахарной свеклы протекает в конкретных природно-климатических и организационно-хозяйственных условиях, поэтому он характеризуется множеством альтернативных вариантов развития. Причём природно-климатические факторы диктуют условия возделывания сахарной свеклы, специфику технологии, ее взаимосвязь с ресурсами, необходимыми для ее реализации, сроки начала проведения полевых механизированных работ и их продолжительность.

В большинстве случаев производственный процесс возделывания и уборки сахарной свеклы осуществляется на основе учета средних многолетних данных. К сожалению, рекомендуемые научными учреждениями технологические разработки не всегда принимаются в качестве основных производственных документов, так как особенности использования техники, режим её работы, сроки выполнения и другие параметры технологических процессов требуют модификации и соотнесения с конкретными условиями производства. В связи с этим принятие решений без учета вышеназванных факторов приводит к сбоям производственного процесса, которые влекут за собой неоправданные ежегодные потери продукции.

Сахарная свекла обладает самой высокой энергоресурсоёмкой технологией возделывания, и в условиях вступления России в ВТО вопрос энергоёмкости может стать одним из главных факторов конкурентоспособности произведённой продукции [1, 10].

Целью теоретических исследований являлось повышение эффективности технологий производства сахарной свеклы на основе энергоресурсосбережения.

Для достижения поставленной цели установлены следующие задачи исследования:

- выявление факторов, способствующих повышению эффективности использования механизированных линий возделывания и уборки сахарной свеклы;
- разработка на их основе схемы адаптации механизированных процессов к складывающимся природным и производственным условиям.

**Результаты исследования и их обсуждение.** Управление технологическими процессами возделывания сахарной свеклы происходит под воздействием всего комплекса природных и техногенных факторов. Для формализации системы производства представим её в виде модели (рис.1).

Вектор входящих энергетических воздействий ( $\bar{E}(t)_{BX}$ ) формируется на основе состояния природно-климатического комплекса, наличия ресурсов и поступившей информации о целях и задачах производства ( $C$ ). Данный вектор включает в себя [3, 9]:

$$\bar{E}(t)_{BX} = E_{mex} + E_{чел} + E_{вещ} , \quad (1)$$

где  $E_{mex}$  - энергетические затраты, связанные с использованием технических ресурсов;  $E_{чел}$  - энергетические затраты живого труда;  $E_{вещ}$  - энергетические затраты, связанные с расходом веществ, задействованных в производстве сахарной свеклы (семена, удобрения, ядохимикаты и др.).

Вектор выходных энергетических параметров ( $\bar{E}_{ВМХ}$ ) характеризует конечный продукт переработки корнеплодов – сахар. Выход конечного продукта зависит от эффективности управления производственными процессами, которые связаны со сроками подачи техногенной энергии и продиктованы скоростью течения природных процессов в почве и растениях, сезонные значения и динамика изменения которых находится в непосредственной зависимости от складывающихся энергетических условий сезона. В формализованном виде выход готового продукта можно представить функцией отклика [2]:

$$\bar{E}_{ВМХ} = f \left[ \bar{E}(t)_{BX} ; Q(t); S \left[ \bar{\omega} \tau \right]; T_{\phi} \right] \quad (2)$$

где  $s[\bar{\omega}_\tau]$  - состояние системы в момент времени  $t$ ;  $T_\phi$  - период функционирования технологических систем производства сахарной свеклы;  $\bar{\omega}_\tau$  - природно-климатический комплекс;  $Q(t)$  - объем механизированных работ при производстве сахарной свеклы, диктуемый в момент времени  $t$  к складывающимся условиям сезона.

При проектировании эффективного использования техники в ходе выполнения производственного процесса возделывания и уборки сельскохозяйственных культур необходимо учитывать следующие особенности: разные проявления биологических особенностей культуры, варьирование энергоёмкости механизированных работ, ежегодное влияние природно-климатических условий на начало и продолжительность использования техники, многообразие природно-климатических и организационно-хозяйственных условий использования техники [8].

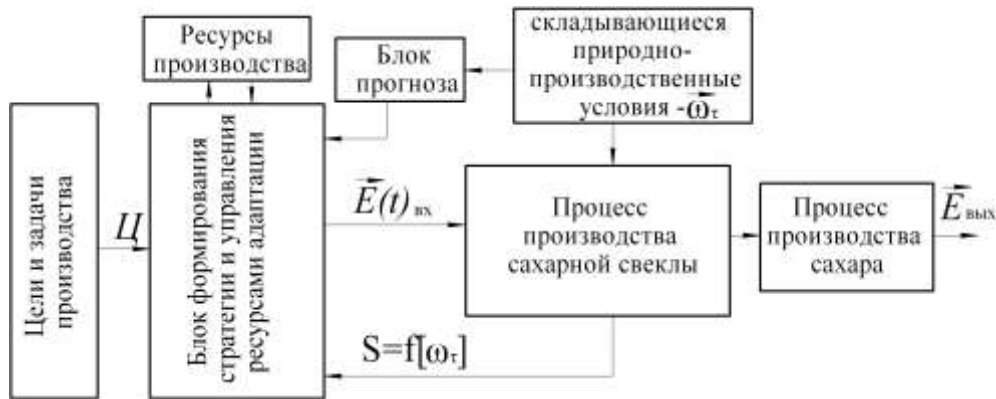


Рис. 1. Модель системы производства сахара из сахарной свеклы

В целях минимизации потерь урожая при эффективном использовании ресурсов в течение всего продукционного сезона, заданного технологиями возделывания сахарной свеклы, разработана схема адаптации механизированных процессов к складывающимся природно-производственным условиям (рис. 2).



Рис. 2. Схема адаптации механизированных процессов к складывающимся природно-производственным условиям

В этом алгоритме недостаток информации при выработке управляющих воздействий преодолевается путём получения дополнительных сведений об особенностях взаимодействия данной системы с окружающей

средой и последующего изменения на этой основе управляемых параметров при отклонении условий функционирования от средних или нормативных.

Меру организованности и предсказуемости при информационной оценке производственного процесса возделывания и уборки сахарной свеклы предполагается использовать как основу при проектировании состава и использования техники с определенной заблаговременностью.

Характерной особенностью адаптивного использования природных и техногенных ресурсов производства должны стать – обоснование и выбор стратегии достижения и поддержания необходимых уровней темпов и хода полевых механизированных работ в складывающихся условиях сезона. Под сезонной стратегией мы будем понимать возможное направление действий по поддержанию необходимого уровня темпов и хода полевых механизированных работ, которого необходимо придерживаться для достижения поставленной цели, принимая в качестве оценки успешности реализации стратегии максимум получения сахара при возможно минимальных для условий этого сезона энергетических затратах.

На представленной схеме (рис. 2) выделено несколько подсистем. Первая из них – подсистема производственных ресурсов, которая принимает информацию о целях и задачах производства. В ней на основании имеющейся в хозяйстве ресурсной базы и нормативных данных происходит выбор базовой механизированной технологии [1, 5, 10], предусматривающей затраты энергии  $\bar{E}_{BX}^0$ .

Поскольку каждый год природно-климатические и организационно-хозяйственные условия реализации технологических процессов возделывания и уборки сахарной свеклы различны, а пренебрежение ими заведомо ведёт к потерям и нерациональному использованию ресурсов, необходимо проводить корректировку данных процессов в соответствии с изменяющимися производственными факторами. Для этого разработана подсистема адаптации, в которую входит комплекс мер по анализу природно-климатических особенностей и организационно-хозяйственной деятельности, обеспечивающих сбор, анализ и предварительную обработку поступающей информации, распознавание природно-энергетических сезонных особенностей, прогнозирование сроков начала работ и их продолжительности, укомплектованность технологических линий техническими средствами, соответствующими критериям энергоёмкости, способности программировать урожайность и сахаристость свеклы.

В установленное время фиксируются начальные условия, на основании которых по разработанной методике прогнозируются начало, продолжительность и ход механизированных работ, а также урожайность и сахаристость сахарной свеклы.

Учитывая, что природные и техногенные аспекты энергетики тесно взаимосвязаны, поиск оптимальной стратегии по реализации технологий производства сахарной свеклы в складывающихся условиях сезона требует анализа множества альтернативных вариантов решения. При этом стоит отметить, что рост энергетической эффективности связан с применением технологий, позволяющих не только увеличивать объёмы производства сахарной свеклы, но и в тоже время использовать резервы производства по сокращению затрат техногенной энергии. Решение таких многопараметрических задач представляется достаточно сложным и требует владения большим объёмом исходной информации. В формализованном виде математическая модель определения оптимальных энергетических параметров технологических линий производства сахарной свеклы и эффективности её использования в течение продукционного периода сезона может быть представлена в следующем виде:

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{\Delta \in T} K_{ij\Delta} \cdot E_{ij\Delta}^n + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{\Delta \in T} N_{ij\Delta} \cdot E_{ij\Delta}^{nc} + H \cdot (\sum_{i \in L} K_i \cdot E_i^k + \sum_{a \in A} K_a \cdot E_a^k + \sum_{s \in S} K_s \cdot E_s^k + \sum_{d \in D} K_d \cdot E_d^k + \sum_{o \in O} K_o \cdot E_o^k) + \alpha_{car} \cdot \sum_{i \in I} \Pi_{car i} \rightarrow \min \quad (3)$$

При условиях:

– по темпу выполнения полевых механизированных работ

$$\Theta_i \geq \Theta_{ni}^{np} = K_{ij} \cdot W_{cmij} \cdot K_{cmi} \cdot K_{zj} \cdot K_{mi} \cdot K_{orgi};$$

– объёмы механизированных работ должны быть выполнены

$$\sum_{i \in I} \Theta_i \cdot \Delta t_i \geq \Theta_{i\Delta t} \quad (i \in I; t \in T);$$

– тракторов и сельскохозяйственных машин должно быть больше, чем агрегатов

$$K_i + K_d \geq K_{ij};$$

– неотрицательности неизвестных  $K_i > 0; K_d > 0; K_o > 0; K_{ij} > 0;$

– сахаристость корнеплодов на момент начала уборки –  $C_i \geq C_{min}$ .

Корнеплоды, убранные с поля и транспортируемые на завод, должны соответствовать следующим физико-химическим показателям [2]: сахаристость  $\geq 14\%$ ; загрязнённость  $\leq 15\%$ ; содержание зелёной массы  $\leq 3\%$ ; содержание увядших корнеплодов  $\leq 5\%$ ; содержание корнеплодов с сильными механическими повреждениями  $\leq 12\%$  [8].

Комплектование линий производства сахарной свеклы техногенными ресурсами происходит с учетом использования минимальных энергетических затрат. При расчёте учитываются: 1) прямые энергозатраты, выраженные количеством расходуемых топливо-смазочных материалов и оплатой живого труда; 2) косвенные энергозатраты, выраженные через энергоёмкость технических средств, а также возможные потери урожая корнеплодов и сахаристости продукта, в том числе, готового продукта – сахара, переведенные в энергетический эквивалент.

Предложенная модель предусматривает два варианта стратегии: 1) оптимальная – поддержание необходимого темпа выполнения работ и использование при этом наиболее эффективных по энергетическим критериям средств механизации; 2) рациональная – поддержание темпа работ за счёт собственных и привлеченных производственных ресурсов при допустимом уровне потерь продукции.

В модели приняты следующие обозначения:

$i$  – виды работ;  $j$  – виды агрегатов;  $\Delta t_i$  – прогнозируемая продолжительность проведения полевых механизированных работ  $i$ -го вида;  $l, d, o, a, s$  – соответственно, марки тракторов, сельскохозяйственных машин, сцепок, автомобилей, свеклоуборочных комбайнов;  $K_{ij\Delta t}$  – количество агрегатов  $j$ -го типа, необходимых для выполнения  $i$ -ой механизированной работы в  $\Delta t$ -ый период времени;  $K_i, K_a, K_s, K_d$  – соответственно, искомое количество тракторов, автомобилей, свеклоуборочных комбайнов, сельскохозяйственных машин, сцепок, необходимых для выполнения механизированных работ в агротехнические сроки;  $N_{ij\Delta t}$  – число рабочих, участвующих в выполнении  $j$ -ым агрегатом  $i$ -ой работы в  $\Delta t$ -ый период сезона;  $I$  – множество механизированных работ, которые выполняются при возделывании и уборки сахарной свеклы;  $T, J, T, L, A, S, D, O$  – соответственно, множество периодов выполнения механизированных работ, множество агрегатов, тракторов, автомобилей, свеклоуборочных комбайнов, сельскохозяйственных машин, марок сцепок;  $E_{ij\Delta t}^n$  –

прямые затраты энергии  $j$ -го агрегата на  $i$ -ой работе в  $\Delta t$ -ый период времени;  $E_{ij\Delta t}^{жс}$  – энергозатраты живого труда на  $j$ -ом агрегате, на  $i$ -ой работе в  $\Delta t$ -ый период времени;  $E_l^k, E_a^k, E_s^k, E_d^k, E_o^k$  – соответственно, энергоёмкость тракторов, автомобилей, свеклоуборочных комбайнов, сельскохозяйственных машин и сцепок;  $Q_{i\Delta t}$  – объём механизированных работ  $i$ -го вида, выполненный за период  $\Delta t$ ;  $\Theta_i$  – фактический темп выполнения  $i$ -ой механизированной работы;  $\Theta_{ni}^{np}$  – темп выполнения  $i$ -ой механизированной работы, диктуемый складывающимися условиями сезона;  $W_{cmij}$  – сменная производительность агрегата  $j$ -го типа на работе  $i$ -го вида;  $H$  – нормативный коэффициент эффективности энергии, вложенной в производство сельскохозяйственной техники;  $C_i$  – сахаристость свеклы на  $i$ -ом поле на начало уборки;  $C_{min}$  – минимально допустимая для уборки сахаристость свеклы;  $a_{сах}$  – энергетический эквивалент сахара;  $П_{C_i}$  – потери сахара от нарушения сроков  $i$ -ой полевой механизированной работы в зависимости от складывающихся условий сезона.

Результаты деятельности подсистемы адаптации используются при выборе и обосновании стратегии выполнения полевых механизированных работ, предусматривающей затраты энергии  $\bar{E}_{BX}^1$ . В случае невозможности проведения механизированных работ в сроки, диктуемые природой, производится расчёт потерь продукции и корректировка входящих в производственный процесс затрат энергии  $\bar{E}_{BX}$ .

В разработанной схеме адаптации механизированных процессов учёт отклонения реальных результатов деятельности системы от заданных производится с помощью вектора  $\bar{\lambda}(t)$  с соблюдением следующих условий:

$$\bar{E}_{BX}^0 > \bar{E}_{BX}^1; \bar{E}_{BX} \geq \bar{E}_{BX}^1.$$

В итоге получаем, что каждому возможному состоянию природно-климатического комплекса  $\omega_t$  в зависимости от стратегии выполнения полевых механизированных работ соответствует множество управляющих воздействий  $[\bar{E}_{BX1}; \bar{E}_{BX2}; \dots; \bar{E}_{BXq}; \dots; \bar{E}_{BXn}]$ .

Поскольку протекание технологических процессов производства сахарной свеклы происходит под воздействием большого числа факторов, каждое сочетание которых создаёт отдельный природно-климатический и энергетический образ сезона, то подобрать адекватные складывающимся условиям управляющие воздействия  $\bar{E}_{BXq}$  без системного подхода достаточно трудно. По этой причине в разработанной схеме адаптации предусматривается объединение однородных природно-энергетических образов в классы.

Процесс распознавания состоит в том, что полученная и обработанная информация о рассматриваемом природно-климатическом образе сезона  $\omega_t$ , поступившая на вход блока распознавания, сопоставляется с априорным описанием, а затем в соответствии с определённым алгоритмом принимается решение о принадлежности образа к одному из классов. Данная классификация позволила создать набор сезонных паспортов, в которых приведена их основная природно-климатическая и энергетическая характеристика.

Каждый класс сформирован таким образом, что обладает отличительным типом сезона, и на его основе разрабатывается оптимальный план выполнения производственного процесса в соответствии с энергетическими, технологическими и экономическими ограничениями, налагаемыми на производственный процесс складывающимися условиями производства.

Полученная в процессе производства сахарная свекла, несущая в себе энергию  $\bar{E}_{ВЫХ}^0$ , подвергается дальнейшей переработке, в результате которой получается конечный продукт – сахар ( $\bar{E}_{ВЫХ}$ ).

Установлено, что насыщение технологических процессов дополнительной техногенной энергией не всегда обеспечивает высокую эффективность технологий, поэтому при их сравнительной оценке введён дополнительный критерий, позволяющий определять эффективность техногенных затрат ещё на стадии проектирования производства. За такой критерий был принят коэффициент энергетической эффективности техногенных процессов ( $K$ ) [3, 4], характеризующий окупаемость затраченной энергии на получение готовой продукции:

$$K = \frac{E_{ВЫХ}}{E_{ВХ}}, \quad (4)$$

где  $E_{ВЫХ}$  – количество энергии, содержащейся в сахарной свекле ( $E_{ВЫХ} = \alpha \cdot Y$ ), МДж/га;  $\alpha$  – энергетический эквивалент сахарной свеклы, МДж/т;  $Y$  – урожайность сахарной свеклы, т/га;  $E_{ВХ}$  – количество техногенной энергии, затраченной на производство сахарной свеклы, МДж/га.

Сахарная свекла является сырьём для переработки, из которого получают готовый продукт – сахар. По этой причине при расчёте коэффициента  $K$  будет целесообразнее учитывать энергию, содержащуюся не в сахарной свекле, а в сахаре, полученном после переработки корнеплодов:

$$E_{ВЫХ}^{сах} = (e_{сах} \cdot Y \cdot C \cdot K_{изв}) / 100, \quad (5)$$

где  $E_{ВЫХ}^{сах}$  – количество энергии, содержащейся в сахаре, МДж/га;  $e_{сах}$  – энергосодержание сахара, МДж/т;  $C$  – сахаристость сахарной свеклы, %;  $K_{изв}$  – коэффициент извлечения сахара.

### Выводы

Предложенная модель адаптации механизированных процессов к складывающимся природно-производственным условиям прошла производственную проверку в ООО «Агрофирме «Золотой колос» Нижегородской области в 2013-2015 гг. [6, 7]. Применение энергетического подхода при анализе процессов системы производства сахарной свеклы в рамках методики адаптивной интенсификации продемонстрировало его эффективность при реализации результатов исследований. По результатам имитационного моделирования сделаны следующие основные выводы [6, 7]:

1) наибольший энергетический эффект от разработанных стратегий ведения механизированных работ в складывающихся условиях сезона достигается в условиях холодного, умеренно-влажного сезона (его значение составило 33,2 %), наименьший – в теплый сухой сезон – 29,4 %;

2) использование оптимального состава технологической линии производства сахарной свеклы в условиях Нижегородской области позволило снизить энергетические затраты на средства механизации от 1293 МДж/га при высоком уровне эксплуатации технических средств в теплый сухой сезон до 2253 МДж/га при низком уровне использования технических средств в холодный влажный сезон;

3) энергетический эффект от учёта дополнительно полученной продукции составляет от 3543 до 9753 МДж/га;

4) экономический эффект с учётом дополнительно полученной продукции в среднем составил 5626 руб./га: себестоимость продукции снизилась на 6,8 % на гектар, рентабельность производства увеличилась на 8,4 %.

### Литература

1. Аничин, В. Л. Теория и практика управления производственными ресурсами в свеклосахарном подкомплексе АПК / В. Л. Аничин. – Белгород: БелГСХА, 2005. – 280 с.
2. Горбунов, Б. И. Адаптивное управление производственными процессами в агроэкосистемах / Б. И. Горбунов // Нижегородский аграрный вестник. - Н.Новгород: НГСХА, 2012. – С. 223-232.
3. ГОСТ Р 51750-2001 Энергосбережение. Методика определения энергоёмкости при производстве продукции и оказании услуг в технических энергетических системах. – М.: Изд-во стандартов, 2002. – 24 с.
4. ГОСТ Р 52647-2006 Свекла сахарная. Технические условия. – М.: Стандартинформ, 2007. – 9 с.
5. Гуреев, И. И. Современные технологии возделывания и уборки сахарной свеклы: практическое руководство / И. И. Гуреев. – 2-е изд, перераб и доп. – М.: Печатный Город, 2011. – 256 с.
6. Денцов, М. Н. Использование принципов энерго-, ресурсосбережения при оптимизации технологий в растениеводстве / М. Н. Денцов, Б. И. Горбунов, А. В. Тюльнев // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2016. – № 4 (36). – С. 144-151.
7. Денцов, М. Н. Пути снижения затрат на выращивание сахарной свеклы в Нижегородской области / М. Н. Денцов, А. В. Павлов // Сахарная свекла. – 2014. – № 6. – С. 8-9.
8. Методы повышения эффективности механизированных процессов по условиям их функционирования в растениеводстве / А.Н. Важенин и [др.] - М.: Академия Естествознания, 2010. – 365 с.

9. Методология и методика энергетической оценки агротехнологий в агроландшафтах. – М.: МСХА им. К.А. Тимирязева, 2007. – 21 с.

10. Шпаар, Д. Сахарная свекла: учебно-практическое руководство по выращиванию сахарной свеклы / Д. Шпаар, Д. Дрегер, А. Захаренко. – Мн.: ФУА информ, 2004. - 256 с.

#### *Сведения об авторах*

1. **Горбунов Борис Иванович**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Механизация животноводства и электрификация сельского хозяйства», Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия, 603107, г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, 97, тел:(8-831)466-06-88, e-mail: Boris.gorbunov@list.ru;

2. **Денцов Михаил Николаевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Механизация животноводства и электрификация сельского хозяйства», тел: (8-831) 466-07-13, 8-950-615-81-26, e-mail: maikl71988@mail.ru;

3. **Тюльнев Александр Владимирович**, аспирант кафедры «Механизация животноводства и электрификация сельского хозяйства» тел. 8-952-457-41-87, e-mail: taw220@mail.ru.

### **THEORETICAL RESEARCHES ON INCREASE OF EFFICIENCY OF TECHNOLOGICAL LINES FOR PRODUCTION OF SUGAR BEET**

**B.I. Gorbunov, M.N. Dentsov, A.V. Tyulnev**

*Nizhny Novgorod State Agricultural Academy,  
603107, Nizhny Novgorod*

**Abstract.** *Currently, an important criterion of competitiveness of the manufactured products is its energy intensity, which depends on the optimal use of production lines of crop cultivation. This paper presents the theoretical researches on increase of efficiency of technologies of production of sugar beet. The algorithm of adaptation of the mechanized processes of cultivation and harvesting of sugar beet to the prevailing natural conditions of production. A mathematical model to determine the optimal energy cost is developed conditions and limitations for each model are composed. The proposed algorithm passed the production test, through implementation in the production process. The effectiveness of its use is proved by experimental studies and simulation modelling.*

**Key words:** *algorithm adaptation, sugar beet, technological resources, technological system, energy costs, energy efficiency, production conditions.*

#### **References**

1. Anichin V.L. Theory and practice of productive resources in sugar beet subcomplex AIC. - Belgrade : BelSAA, 2005. - 280 p.

2. Gorbunov, B. I., Adaptive control of production processes in agroecosystems // Nizhny Novgorod Agrarian Bulletin. - N. Novgorod, 2012. - Pp.223-232.

3. GOST P 51750-2001 Energy-saving. Methods of energy consumption determination in production and services in technical and power systems. – М.: Publishing house of standards, 2002. – 24 pages.

4. GOST R 52647-2006 Sugar beet . Specifications. – Moscow: Publishing House of Standards , 2007 . – 9 p.

5. Gureev I. I. Modern technologies of cultivation and harvesting of sugar beets. Practical guide / ed. 2nd, revised and additional. - М.: Printed City, 2011. - 256 p.

6. Dentsov, M. N.. Using principles of energy and resource conservation at the optimization of technologies in crop production / M. N. Dentsov, B. I. Gorbunov, A. V. Tyulnev // Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy. Scientific-theoretical journal. No. 4(36). – Ulyanovsk, 2016. – Pp. 144-151.

7. Dentsov, M. N. Ways to reduce the cost of cultivation of sugar beet in the Nizhny Novgorod region / M. N. Dentsov, A. V. Pavlov // Sugar beet. - 2014. - № 6. - Pp. 8-9.

8. Vazhenin A.N. Methods of increasing the efficiency of mechanized processes in terms of their functioning in crop production / A.N. Vazhenin, A.V. Pasin, A.I. Novozhilov. - М.: Academy Of Natural Sciences, 2010. - 365 p.

9. Methodology and methods of energy assessment of agricultural technologies in agricultural landscapes. – Moscow: Moscow Agricultural Academy named after K. A. Timiryazev, 2007. - 21 p.

10. Shpaar D. Sugar beet: Training and practical guide to the cultivation of sugar beet / Shpaar D. , D. Dreger, A. Zakharenko. -Мн. " FAA inform ", 2004. - 256 p.

#### **Information about authors**

1. **Gorbunov Boris Ivanovich**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Chair "Mechanization of Livestock and Electrification of Agriculture", Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, 603107, Nizhny Novgorod, pr. Gagarina, 97, Phone: (8-831)466-06-88, e-mail: Boris.gorbunov@list.ru;

2. *Dentsov Mikhael Nikolaevich*, Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor of the Chair "Mechanization of Livestock and Electrification of Agriculture", Phone:(8-831) 466-07-13, 8-950-615-81-26, e-mail: maikl71988@mail.ru;

3. *Tyulnev Alexander Vladimirovich*, Postgraduate Student of the Chair "Mechanization of livestock and Electrification of Agriculture", Phone: 8-952-457-41-87, e-mail: taw220@mail.ru.

УДК 631.317

## ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВИНТОВЫХ РАБОЧИХ ЭЛЕМЕНТОВ ПОЧВЕННЫХ ФРЕЗ

**Ю.Ф. Казаков**

*Чувашская государственная сельскохозяйственная академия  
428003, Чебоксары, Российская Федерация*

**Аннотация.** Наряду с неоспоримыми достоинствами ротационных почвообрабатывающих рабочих органов им присущ и ряд недостатков, основным из которых являются высокие удельные энергозатраты. В статье рассмотрены конструктивно-технологические направления уменьшения энергетических затрат почвенных фрез путем оснащения их винтовыми рабочими элементами переменной кривизны. Вогнутая форма поверхности рабочего элемента по ходу пласта превращается в выпуклую. При этом сжатие стружки в продольном направлении (вдоль параллели) сочетается с растяжением в поперечном направлении (вдоль меридиана). Предложено рабочую поверхность неплюсской лопасти формировать за счет непрерывного изменения угла наклона производящей, а также аксиальных шагов направляющих винтовых линий. В качестве производящей использован отрезок плоской кривой. Поверхность лопасти условно разделена на участки, отличающиеся характером воздействия на почву. Закономерность изменения кривизны поверхностей на этих секторах определяется функциональным назначением рабочих органов. Вдоль основного лезвия эллиптической квадрантной лопасти выделены участки врезания, крошения, рыхления, а вдоль радиального лезвия стойки – полосы подрезания и отрыва стружки со дна борозды, предназначенные преимущественно для поворота стружки, а также транспортировки разрыхленной почвы. Дано обоснование углов обхвата стружки, скорости и направления изменения радиального и аксиального шагов соосных винтовых линий. Представлены графики изменения винтовых параметров винтовых линий, полученных сечением винтовой поверхности лопасти круговыми соосными цилиндрами разных диаметров. Они применяются для конструирования почвообрабатывающих рабочих органов с учетом их целевого назначения: для сплошной обработки почвы, при этом вынос почвы из борозды ограничен, для нарезания борозд, в частности, используемого в качестве активного предплужника, для вскрытия борозды сеялок прямого посева, в качестве рабочего органа для нарезания гребней и междурядной обработки. Для характерных участков поверхности лопасти приведены следы пересечения плоскостями, перпендикулярными плоскости вращения малой полуоси. Утверждается, что оснащение ротационных почвообрабатывающих рабочих органов элементами в виде винтовых поверхностей с переменной шагом способствует расширению их функциональных возможностей. Это позволило снизить энергозатраты при нарезке гребней для посадки картофеля и при окулировании на 17-20 % по сравнению с орудием с пассивными дисковыми окучниками.

**Ключевые слова:** винтовые рабочие элементы; обоснование параметров; почвенные фрезы; угол обхвата пласта; удельные энергетические затраты.

**Введение.** Изучению ротационных почвообрабатывающих рабочих органов посвящено значительное количество научных работ различных авторов [8,9,10,12,13,15,17]. Установлено, что снижение энергозатрат при обработке почв ротационными рабочими органами может быть достигнуто растянутым во времени процессом входа в почву отдельных участков рабочего элемента (ножа или лопасти), уменьшением потерь мощности на отбрасывание стружек, малым углом резания в начале входа лопасти в пласт и плавным увеличением его величины по мере движения пласта по поверхности клина, изменением характера напряженно-деформированного состояния в стружке по мере воздействия на нее последующих участков лопасти [3, 4, 8, 11, 17]. Установлено, что векторы реакции смежных участков клина должны пересекаться на дневной поверхности почвы или близко к ней [5, 16]. Это возможно, если клин криволинейный, с переменной вогнутостью. Известно, что материал, предварительно подвергшийся сжатию, легче разрушается при растяжении [8]. Для реализации этого эффекта вогнутая форма поверхности рабочего органа по ходу пласта должна перейти в выпуклую. При этом желателен сжатие в продольном направлении совмещать с растяжением в поперечном направлении [5]. Но в проанализированных научных работах отсутствуют методики обоснования параметров конструкции неплюсских рабочих элементов почвенных фрез, установления пределов изменения их технологических параметров.

**Цель и задачи исследования.** Целью статьи является обоснование конструктивно-технологических параметров винтовых рабочих элементов почвенных фрез.

Задача исследования:

– обоснование формы отдельных секторов неплюсской лопасти,