

2. Лепешкин, Н. Д. Механизация почвозащитного земледелия / Н. Д. Лепешкин, А. А. Точицкий, А. Ф. Черныш // Наука и инновации. – 2014. – № 10. – С. 26–28.

3. Лепешкин, Н. Д. Требования к рабочим органам агрегата для основной обработки склоновых земель и выбор их типа / Н. Д. Лепешкин, В. В. Мижурин, А. И. Филиппов // Современные технологии сельскохозяйственного производства : сб. научн. ст. по материалам XXV Междунар. научн.-практ. конф. (Гродно, 23 марта 2022 г.) – Гродно: ГТАУ, 2022. – С. 89–91.

4. Лепешкин Н. Д. Технологии и средства механизации обработки склоновых земель, подверженных водной эрозии / Н. Д. Лепешкин, А. А. Точицкий, Д. В. Заяц, А. И. Филиппов // Современные технологии сельскохозяйственного производства : сб. научн. ст. по материалам XVIII Междунар. научн.-практ. конф. (г. Гродно, 27 марта, 15 мая 2015 г.) – Гродно: ГТАУ, 2015. – С.117–120.

5. Комбинированный почвообрабатывающий агрегат для формирования влагосберегающего, влагонакопительного слоя почвы на склоновых землях: пат. 12875 ВУ, МПК А01В 49/02 / Н. Д. Лепешкин, В. В. Мижурин ; заявитель РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – № u 20210266 ; заявл. 29.09.2021 ; опубл. 30.04.2022.

6. Глубокорыхлитель: пат. 12817 ВУ / Н.Д. Лепешкин, В. В. Мижурин ; заявитель РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – № u 20210214 ; заявл. 16.08.2021 ; опубл. 28.02.2022.

УДК 631.3.072

Поступила в редакцию 29.08.2022

Received 29.08.2022

**А. В. Ленский, А. А. Жешко**

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»  
г. Минск, Республика Беларусь  
E-mail: azeshko@gmail.com*

## **РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА РАЦИОНАЛЬНОГО КОМПЛЕКТОВАНИЯ МАШИННО-ТРАКТОРНЫХ АГРЕГАТОВ ДЛЯ ОСНОВНОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ**

*Аннотация.* Рассмотрены особенности разработки алгоритма рационального комплектования машинно-тракторных агрегатов для основной обработки почвы.

*Ключевые слова:* тяговое сопротивление, комплектование машинно-тракторных агрегатов, основная обработка почвы, алгоритм.

**A. V. Lenski, A. A. Zheshko**

*RUE “SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization”  
Minsk, Republic of Belarus  
E-mail: azeshko@gmail.com*

## **DEVELOPMENT OF AN ALGORITHM FOR RATIONAL ACQUISITION OF MACHINE-TRACTOR UNITS FOR BASIC TILLAGE**

*Abstract.* The features of the development of an algorithm for the rational acquisition of machine-tractor units for basic tillage are considered.

*Keywords:* traction resistance, acquisition of machine-tractor units, basic tillage, algorithm.

### **Введение**

Основными этапами вычислений, направленных на рациональное комплектование машинно-тракторных агрегатов, являются расчет диапазона крюковых усилий, буксования, рабочих скоростей, определение вариации крюковой мощности. После выполнения данных этапов производится построение результирующей таблицы и теоретической потенциальной характеристики. Выполнение названных этапов подробно описано в исследованиях в работе [1]. С целью использования результатов построения потенциальной характеристики в программном модуле для комплектования машинно-тракторных агрегатов необходимо адаптировать существующие методики расчета для их использования в программных модулях.

Также для точного комплектования машинно-тракторных агрегатов необходимо обладать информацией о тяговом сопротивлении существующих рабочих органов для основной обработки почвы. Наиболее совершенным инструментом для определения тягового сопротивления по результатам вычислений являются математические модели, построенные на основании полевых и лабораторных исследований рабочих органов и их комбинаций.

### Основная часть

Для определения крюковых усилий, развиваемых трактором, необходимо располагать данными о передаточных числах трансмиссии для каждой ступени. Подобные показатели являются строго индивидуальными для любой модели трактора, что существенно усложняет порядок сбора исходной информации. В связи с этим на основании анализа диапазона вариации передаточных чисел, для использования в качестве адаптированной для последующего программирования методики расчета, был принят базовый ряд от 5 до 305 (31 ступень) с шагом 5 ед.

*Особенности расчета диапазона крюковых усилий.* Крюковые усилия трактора на каждой передаче для всего диапазона крутящего момента определяются по формулам (1) и (2) для условий достаточного и недостаточного сцепления:

– достаточное сцепление:

$$P_{кр} = \frac{M_d \cdot i_{тр} \cdot \eta_{тр}}{1000 \cdot r_k} - P_f, \quad (1)$$

где  $M_d$  – крутящий момент двигателя, Нм;  $i_{тр}$  – передаточное число трансмиссии (с достаточной точностью может быть принято постоянной величиной в связи с относительно небольшими пределами изменения скоростей поступательного движения);  $\eta_{тр}$  – КПД трансмиссии,  $\eta_{тр} = 0,95$ ;  $r_k$  – радиус качения, м;  $P_f$  – потери на перекачивание, кН;

– недостаточное сцепление:

$$P_{кр} = \mu \cdot \lambda \cdot G_{тр} - P_f, \quad (2)$$

где  $\mu$  – коэффициент сцепления движителей с почвой для расчетных условий движения [2];  $\lambda$  – коэффициент догрузки ведущих колес (за исключением техники с колесной формулой 4К2, для которой коэффициент  $\lambda = (0,75-0,85)$  [3];  $G_{тр}$  – вес трактора, кН.

Поскольку конструктивные схемы ходовой части большинства современных моделей тракторов предполагают привод на все колеса, радиус качения предлагается рассчитывать исходя не только из типа и параметров установленных шин, но и распределения нагрузки по осям:

$$r_k = Q_1 \cdot r_{k1} + Q_2 \cdot r_{k2}, \quad (3)$$

где  $Q_1, Q_2$  – нагрузка на переднюю и заднюю оси соответственно, % от общей массы трактора, кН;  $r_{k1}, r_{k2}$  – радиус качения колес передней и задней осей, м,

$$r_{k1} = r_{01} + k_{yc} \cdot h_{пр1}, \quad (4)$$

$$r_{k2} = r_{02} + k_{yc} \cdot h_{пр2},$$

где  $r_{01}, r_{02}$  – радиус посадочной окружности передней и задней осей соответственно, м;  $k_{yc}$  – коэффициент усадки шины,  $k_{yc} = 0,75$ ;  $h_{пр1}, h_{пр2}$  – высота поперечного профиля шины передней и задней осей соответственно, м.

Исключением в зависимостях (3) и (4) являются гусеничные тракторы и тракторы с колесной формулой 4К2, для которых расчет радиуса качения выполняется по радиусу ведущей звездочки либо ведущего колеса без учета распределения нагрузки. Величина потерь на перекачивание определяется по формуле

$$P_f = \frac{m_{тр} \cdot f \cdot 9,8}{1000}, \quad (5)$$

где  $m_{тр}$  – масса трактора, кг;  $f$  – коэффициент сопротивления качению для расчетных условий [3].

*Расчет диапазона буксования.* Экспериментальные исследования свидетельствуют, что потери мощности на буксование двигателей до определенного предела возрастают практически пропорционально крюковому усилию. При дальнейшем его увеличении потери от буксования начинают возрастать быстрее и протекают по кривой второго порядка. Наилучшим образом теоретическое значение буксования двигателей может быть описано следующим аналитическим уравнением [4]:

$$\delta = \frac{1}{b} \cdot \ln \left( \frac{a}{\mu - \left( \frac{P_{кр}}{\lambda \cdot G_{тр}} \right)} \right), \quad (6)$$

где  $a, b$  – экспериментальные коэффициенты для расчетных условий движения [5].

*Расчет диапазона рабочих скоростей движения и диапазона вариации крюковой мощности.* Для каждой передачи в полном диапазоне оборотов коленчатого вала двигателя выполняется расчет рабочих скоростей движения трактора по формуле

$$V_{раб} = \frac{0,377 \cdot n \cdot r_k}{i_{тр}} \left( 1 - \frac{\delta}{100} \right), \quad (7)$$

где  $n$  – число оборотов коленчатого вала двигателя,  $\text{мин}^{-1}$ .

Для каждого расчетного значения рабочей скорости и крюкового усилия определяется соответствующая им крюковая мощность:

$$N_{кр} = 0,278 \cdot P_{кр} \cdot V_{раб}. \quad (8)$$

*Формирование результирующей таблицы.* Максимальные значения крюковой мощности для каждой передачи записываются в результирующую таблицу, из которой также выбираются соответствующие им показатели крюкового усилия, рабочей скорости и удельного расхода топлива [6]:

$$g_e = \frac{0,73 \cdot 1000 \cdot G_{час}}{N_{кр}}, \quad (9)$$

где  $G_{час}$  – часовой расход топлива при оборотах коленчатого вала двигателя, соответствующих  $N_{кр}$ , л/ч.

Расчетный диапазон результирующей таблицы выбирается исходя из соображений допустимого относительного превышения максимального значения крюковой мощности над ее текущим значением. Оно не должно превышать 20 % в сторону увеличения крюкового усилия (работа в режиме перегрузки) или 50 % в сторону уменьшения крюкового усилия (работа в режиме недогрузки двигателя).

Значения рабочего диапазона крюковых усилий условного трактора тягового класса 2 при эксплуатации его по стерне нормальной влажности и с учетом указанных ограничений находятся в пределах от 9,2 до 29,9 кН.

Методика расчета, выполненная по формулам (1)–(9), адаптирована для интеграции в программный модуль. В частности, алгоритмизированы методики расчета диапазонов крюковых усилий, буксования, рабочих скоростей и вариации крюковой мощности.

Для выявления взаимосвязей между параметрами и динамическими переменными, входящими в формулы (1)–(9), построена графическая интерпретация, представленная на рис. 1.

Как видно из рис. 1, для формирования результирующей таблицы выполнение расчетов диапазона крюковых усилий, буксований, рабочих скоростей и крюковой мощности осуществляется последовательно.

На рис. 2 и 3 приведены блок-схема последовательности и алгоритм рационального формирования машинно-тракторного агрегата, включающая модуль расчета тягового сопротивления рабочих органов сельскохозяйственной машины по эмпирическим моделям. Алгоритм включает в себя несколько последовательных этапов, основанных на классической теории эксплуатации МТА.

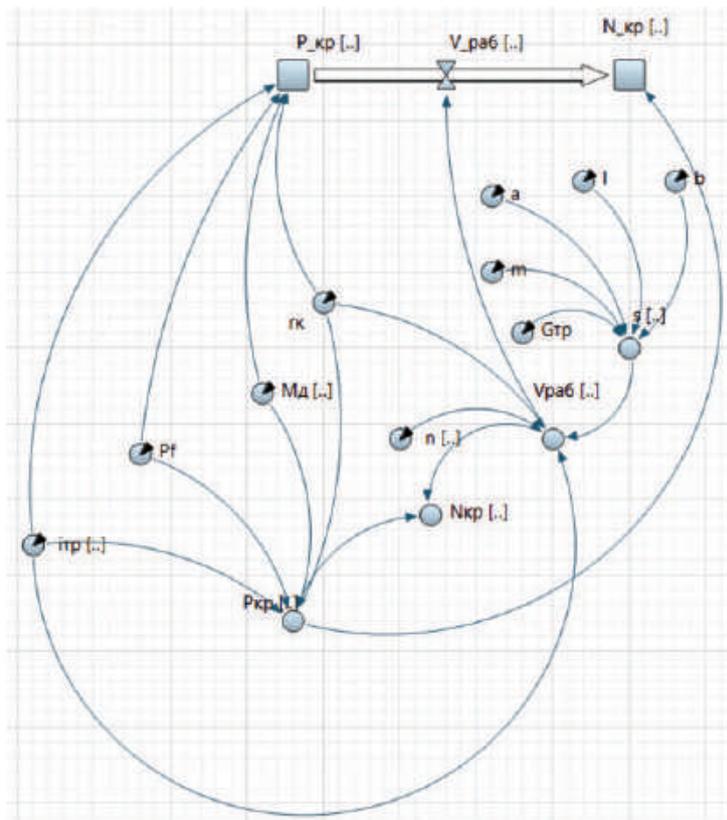


Рис. 1. Графическая интерпретация методики расчета диапазонов крюковых усилий, буксования, рабочих скоростей и вариации крюковой мощности

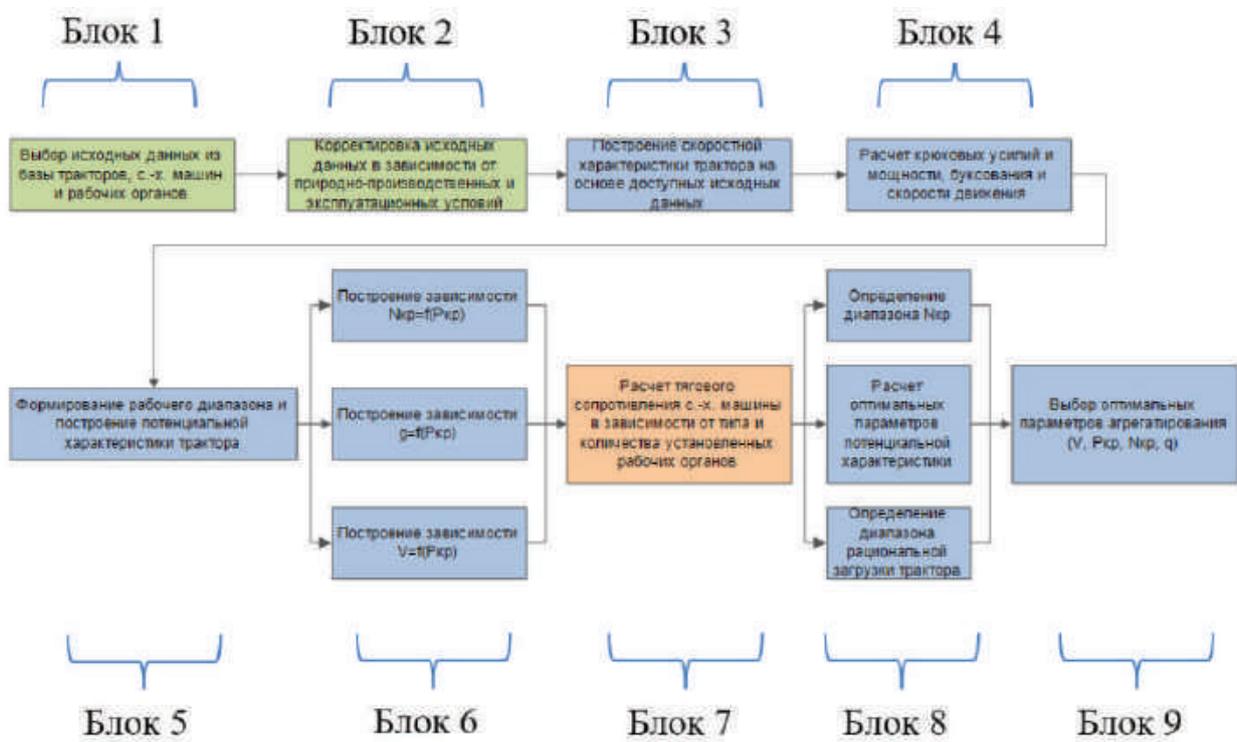


Рис. 2. Блок-схема последовательности рационального комплектования машинно-тракторного агрегата

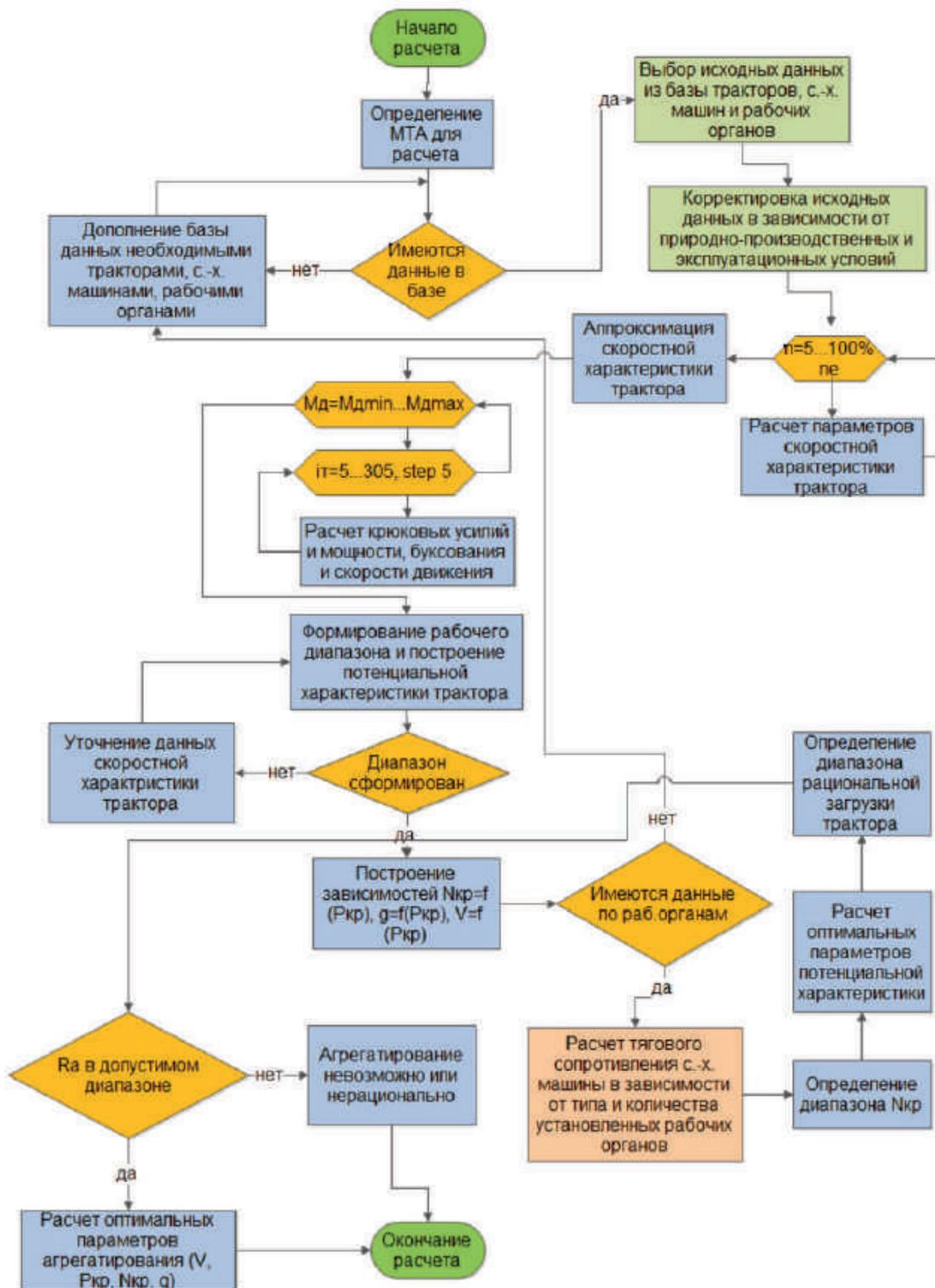


Рис. 3. Блок-схема алгоритма рационального комплектования машинно-тракторного агрегата

На начальных этапах (блоки 1 и 2, рис. 2) осуществляется выбор необходимых исходных данных, включающих технико-эксплуатационные параметры машин и оборудования, а также характеристики природно-производственных условий.

Важным моментом для выполнения расчетов является построение скоростной характеристики двигателя трактора, которая выступает в качестве основы для моделирования потенциальной характеристики трактора (блок 3). При этом нами использованы теоретические наработки для ап-

проксимации параметров скоростной характеристики с требуемой точностью, используя общедоступную информацию с сайтов заводов-изготовителей тракторной техники.

Расчет параметров потенциальной характеристики осуществляется по разработанному ранее алгоритму, который предполагает выполнение теоретических вычислений крюковых усилий, буксования, скорости движения и расхода топлива в широком диапазоне частоты вращения коленчатого вала двигателя и передаточных чисел трансмиссии (блок 4). В дальнейшем осуществляется анализ полученных результатов и формирование рабочего диапазона крюковой мощности, на основании чего производится построение теоретической потенциальной характеристики трактора (блок 5).

Потенциальная характеристика включает в себя зависимости крюковой мощности, удельного расхода топлива и скорости движения от тягового усилия. В предлагаемом алгоритме формирование указанных зависимостей осуществляется автоматически (блок 6).

Наиболее ответственным этапом при комплектовании МТА является расчет тягового сопротивления сельскохозяйственной машины в зависимости от эксплуатационных условий, типа и количества установленных на ней рабочих органов (блок 7). Для выполнения такого расчета необходимо располагать достоверными математическими моделями, отражающими зависимость тягового сопротивления каждого типа рабочего органа от эксплуатационных параметров (в частности, скорости и глубины обработки).

После расчета тягового сопротивления машины выполняется сопоставление динамики его изменения с потенциальной характеристикой трактора, на основании чего осуществляется выбор оптимальных параметров агрегатирования (блоки 8 и 9).

### **Заключение**

В результате проведенных исследований по разработке алгоритма автоматизированного комплектования машинно-тракторных агрегатов получены следующие результаты:

1) адаптирована методика расчета диапазонов крюковых усилий, буксования, рабочих скоростей и вариации крюковой мощности для интеграции в программный модуль. Определено, что для формирования результирующей таблицы выполнение расчетов диапазона крюковых усилий, буксований, рабочих скоростей и крюковой мощности осуществляется последовательно;

2) адаптирован расчет параметров потенциальной характеристики, при этом расчеты выполняются в пять этапов: инициализация данных о максимальном и минимальном тяговом сопротивлении машины, вычисление по уравнениям значений для построения потенциальной характеристики, определение диапазона рациональной загрузки, поиск точки пересечения прямой сопротивления и кривой скорости, анализ расположения прямых тягового сопротивления и получение вывода о рациональности комплектования трактора и сельскохозяйственной машины;

3) построены адекватные нелинейные модели зависимости тягового сопротивления основных рабочих органов для обработки почвы от параметров обработки – глубины и скорости движения рабочего органа; расчеты, проведенные на примере дисковой бороны, показывают, что максимальные отклонения расчетных и фактических значений не превышают 6 % (среднее значение – 3,5 %), что вполне достаточно для применения модели в качестве инструмента прикладного прогнозирования;

4) предложен алгоритм автоматизированного комплектования машинно-тракторных агрегатов, структура которого аргументирована и представлена в виде блок-схемы.

### **Список использованных источников**

1. Ленский, А. В. Формирование эффективной системы машин для механизации растениеводства / А. В. Ленский. – Минск: НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства, 2018. – 377 с.
2. Теоретическое обоснование параметров энергосберегающих машинно-тракторных агрегатов: метод. указания / А. П. Карабаницкий [и др.]; под общ. ред. Г.Г. Маслова. – Краснодар : КубГАУ, 2014. – С. 64.
3. Львов, Е. Д. Теория трактора / Е. Д. Львов. – 5-е изд., перераб. и сокр. – М.: Машгиз, 1960. – С. 136.
4. Юров, М. Д. Тяговый расчет и построение теоретической тяговой характеристики сельскохозяйственного трактора с использованием ЭВМ: метод. указания / М. Д. Юров. – Липецк: ЛГТУ, 2007. – С. 8–9.

5. Колобов, Г. Г. Тяговые характеристики тракторов / Г. Г. Колобов, А. П. Парфенов. – М.: «Машиностроение», 1972. – С. 135–139.

6. Ленский, А. В. Методы определения тягового сопротивления сельскохозяйственных машин / А. В. Ленский, А. А. Жешко // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. / Нац. акад. наук Беларуси, Науч.-практ. центр НАН Беларуси по механизации сел. хоз-ва. – Минск, 2022. – Вып. 55. – С. 188–198.

УДК 636.036.1/636.934.57

Поступила в редакцию 11.10.2022

Received 11.10.2022

**И. В. Паркалов, Е. Л. Жилич, С. А. Цалко, О. Л. Екельчик,  
Ю. Н. Рогальская, В. В. Никончук**

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»  
г. Минск, Республика Беларусь  
E-mail: npc\_mol@mail.ru*

### **ЭКСТРУДИРОВАННАЯ УГЛЕВОДНАЯ ДОБАВКА В РАЦИОНАХ КОРМЛЕНИЯ ПУШНЫХ ЗВЕРЕЙ**

*Аннотация.* Общий объем мирового производства шкурок норки с 2000 года по 2015 год увеличился в 2,5 раза и в 2015 году составил более 80 млн шкурок. Однако пандемический кризис с 2020 года и закрытие звероводства в Дании (до 2022 г.) способствовало снижению производства шкурок норки в мире до 20 млн штук. К декабрю 2020 г. цены на шкурки норки повысились от 50 до 100 %. В Беларуси с 2000 по 2021 гг. производство шкурок норки снизилось до 0,6 млн штук в год. Одним из факторов, повлиявших на данное сокращение, стали корма и их ценовая доступность. Экономические условия на сегодняшний день требуют использования высокоэффективных энергосберегающих технологий безотходного производства. Наиболее актуальной задачей данного направления является внедрение безвредных методов переработки биологических отходов, отходов от переработки овощей, фруктов и других культур, которые представляют собой ценное вторичное сырье для производства кормов.

*Ключевые слова:* экструзия, добавка, углеводная, рацион, переработка, отходы.

**I. V. Parkalov, E. L. Zhilich, S. A. Tsalko, O. L. Ekelchik, Yu. N. Rogalskaya, V. V. Nikonchuk**

*RUE “SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization”  
Minsk, Republic of Belarus  
E-mail: npc\_mol@mail.ru*

### **EXTRUDED CARBOHYDRATE SUPPLEMENT IN THE FEEDING DIETS OF FUR-BEARING ANIMALS**

*Abstract.* The total volume of world production of mink skins from 2000 to 2015 increased 2,5 times and in 2015 amounted to more than 80 million skins. However, the pandemic crisis from 2020 and the closure of fur farming in Denmark (until 2022) contributed to a decrease in the production of mink skins in the world to 20 million pieces. By December 2020, prices for mink skins have increased from 50 % to 100 %. In Belarus, from 2000 to 2021, the production of mink skins decreased to 0,6 million pieces per year. One of the factors that influenced this reduction was feed and their affordability. Economic conditions, today, require the use of highly efficient energy-saving technologies of waste-free production. The most urgent task of this direction is the introduction of harmless methods of processing biological waste, waste from processing vegetables, fruits and other crops that represent it is a valuable secondary raw material for the production of feed.

*Key words:* extrusion, additive, carbohydrate, diet, processing, waste.

### **Введение**

Главным источником углеводов в рационах пушных зверей служат зерновые корма, из которых чаще всего используют зерно злаковых культур: ячменя, пшеницы, кукурузы и др. [1]. Вместе