

А. Н. Юрин, В. В. Викторovich

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»
г. Минск, Республика Беларусь
E-mail: anton-jurin@rambler.ru, lab_plodoyagoda@mail.ru*

ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ МАШИНЫ ДЛЯ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ ТЕПЛИЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Аннотация. В статье представлен краткий обзор обеспечения населения страны плодоовощной продукцией, поднята проблема утилизации растительных отходов тепличного производства, рассмотрены существующие методы утилизации растительных отходов в сельском хозяйстве и промышленности, предложено решение проблемы подбора и измельчения органических отходов тепличного производства и приведено обоснование конструктивно-технологической схемы машины для измельчения органических отходов тепличного производства.

Ключевые слова: тепличные комбинаты, органические отходы, тепличное производство, методы утилизации, технические средства, измельчитель.

A. N. Jurin, V. V. Viktorovich

*RUE "SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization",
Minsk, Republic of Belarus
E-mail: anton-jurin@rambler.ru, lab_plodoyagoda@mail.ru*

RELEVANCE OF THE PROBLEM OF SELECTION AND GRINDING OF ORGANIC WASTE FROM GREENHOUSE PRODUCTION

Abstract. The article provides a brief overview of the supply of fruits and vegetables to the population produced by greenhouse plants in the Republic of Belarus. The problem of recycling plant waste from greenhouse production is raised, existing methods of recycling plant waste in agriculture and industry are considered. A solution to the problem of selecting and grinding organic waste from greenhouse production is proposed.

Keywords: greenhouse plants, organic waste, greenhouse production, disposal methods, technical means, shredder.

Введение

Согласно подпрограмме 1 «Развитие растениеводства, переработки и реализация продукции растениеводства» [1] в республике проводится целенаправленная работа по защите внутреннего рынка, производству конкурентоспособной овощной продукции в открытом и защищенном грунте.

При средней урожайности 279 центнеров с гектара среднегодовой сбор овощей в течение пятилетки (2016–2019 гг.) составил 1,8 млн т, что на 109,1 % больше, чем в 2015 г. [2]. Весь урожай овощей защищенного грунта в целом по республике в 2019 г. составил 123,8 тыс. т продукции, в том числе: огурцов – 46,9 тыс. т, томатов – 75,4 тыс. т и прочих культур – 1,4 тыс. т.

В 2020 г. сбор овощей составил 1,75 млн т, или 95,6 % к 2019 г., при средней урожайности 277 центнеров с гектара по сравнению с 284 ц в 2019 г. и 245 ц в 2015 г. Производство овощей защищенного грунта за 2020 г. составило 118,705 тыс. т. [2].

В 2022 г. в условиях защищенного грунта выращено 110,4 тыс. т овощей, из них огурцов – 41,7 тыс. т, томатов – 66,3 тыс. т, прочих овощей и зеленных культур – 2,4 тыс. т. В целом по итогам года объемы тепличной продукции позволяют обеспечить потребности внутреннего рынка, однако отмечается недостаток огурцов и томатов в межсезонный период.

В 2023 г. овощей собрано 2,8 млн т при средней урожайности 298 ц/га. В защищенном грунте произведено 105 тыс. т овощей, или 3,8 % от общего объема производства. В структуре производства овощей в защищенном грунте доля помидоров составила 58,2 %, огурцов – 40 %, прочих овощей – 1,8 % [2].

По объему производства овощей в защищенном грунте первенство принадлежит Минской области. В 2023 г. областью произведено 46 тыс. т овощей, или 43,8 % от общего объема производства в республике, в том числе помидоров – 27,7 тыс. т (45,4 %), огурцов – 16,9 тыс. т (40,2 %).

По состоянию на 2023 г. в Республике Беларусь промышленное значение имеют 21 тепличный комбинат, общая площадь остекленных теплиц которых составляет 270 га. Зимние теплицы в крупных хозяйствах занимают 231 га.

Ежегодно в защищенном грунте получают примерно 110 тыс. т овощной продукции (в 2023 г. – 105 тыс. из-за прекращения работы старых – более 30 лет эксплуатации – низкоэффективных теплиц).

В десятку организаций, имеющих наибольшие площади под защищенным грунтом, входят ОАО «ДорОрс», МРУП «Агрокомбинат «Ждановичи», ОАО «ТК «Берестье», КСУП «Минская овощная фабрика», ОАО «Рудаково», КСУП «Тепличное», РУАП «Гродненская овощная фабрика», УП «Минский ПТ комбинат», ОАО «Рассвет» им. К. П. Орловского», КСУП «Брилево».

В настоящее время в республике проводится системная модернизация имеющегося в наличии тепличного комплекса: оснащение существующих теплиц технологиями светокультуры и дополнительная постройка новых современных теплиц. Строительство новых теплиц планируется не только в тепличных хозяйствах, но и в крестьянских (фермерских) хозяйствах [3].

Из вышеизложенного следует, что объемы произведенной тепличными хозяйствами овощной продукции будут только расти. Соответственно в геометрической прогрессии будут расти и объемы растительных остатков, которые необходимо удалить по завершении процесса выращивания в кратчайшие сроки.

Так, в соответствии с НТП 10-95 «Нормы технологического проектирования теплиц и тепличных комбинатов для выращивания овощей и рассады» выход растительных остатков с 1 га теплиц составляет [4]:

- огурца – партенокарпических гибридов – 60–70 т;
- пчелоопыляемых сортов и гибридов – 80–90 т;
- томата – 90–100 т;
- томата при продленной или переходной культуре – 120–130 т;
- при приспускании шпалеры – 170–200 т.

Отсюда следует, что в Беларуси выход растительных остатков с 270 га теплиц при возделывании огурца партенокарпических гибридов и томата при продленной или переходной культуре составляет 24,3–27,0 тыс. т ежегодно (при соотношении занимаемых культурами площадей остекленных теплиц 50×50).

Основная часть

В соответствии с предлагаемой нами методикой инженерного расчета конструктивно-технологических параметров устройства для подбора и измельчения органических отходов тепличного производства необходимо задаться конструктивно-технологической схемой (рисунок 1).

Следующим этапом приводится перечень искомых конструктивно-технологических параметров устройства для подбора и измельчения органических отходов тепличного производства.

Конструктивно-технологические параметры устройства для подбора и измельчения органических отходов тепличного производства подлежат определению методом инженерного расчета, основанного на теоретических предположениях:

- $v_{сл}$ – скорость подачи слоя измельчаемого растительного материала, м/с;
- $b_{тп}$ – ширина транспортировочного полотна, мм;
- $l_{тп}$ – длина транспортировочного полотна, мм (на схеме не показано);
- $b_{г}$ – ширина загрузочной горловины, мм (на схеме не показано);

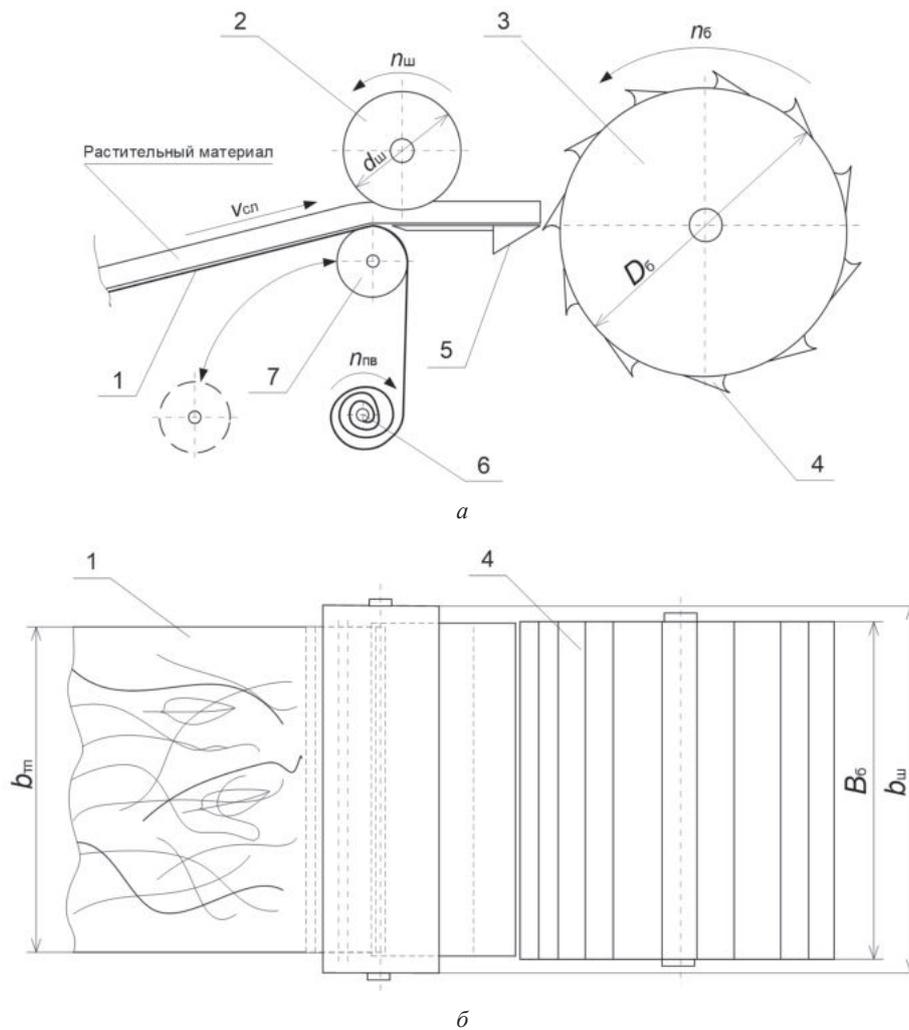


Рисунок 1 – Конструктивно-технологическая схема устройства для подбора и измельчения органических отходов тепличного производства: *a* – вид сбоку; *б* – вид сверху; 1 – транспортировочное полотно; 2 – шнек со встречной навивкой; 3 – ножевой барабан; 4 – нож; 5 – противорежущая пластина; 6 – подающий валец; 7 – прижимной валец

- h_T – высота загрузочной горловины, мм (на схеме не показано);
- $n_{пв}$ – частота вращения подающего вальца, мин^{-1} ;
- $d_{пв}$ – диаметр подающего вальца, мм (на схеме не показано);
- $b_{пв}$ – ширина подающего вальца, мм (на схеме не показано);
- $n_{ш}$ – частота вращения шнека, мин^{-1} ;
- $d_{ш}$ – диаметр шнека со встречной навивкой, мм;
- $b_{ш}$ – ширина шнека со встречной навивкой, мм;
- $n_б$ – частота вращения режущего барабана, мин^{-1} ;
- $D_б$ – диаметр ножевого барабана, мм;
- $B_б$ – ширина ножевого барабана, мм;
- Δh – высота расположения оси ножевого барабана над противорежущей пластиной, мм (на схеме не показано);
- z – количество ножей на ножевом барабане, шт. (на схеме не показано).

Методика инженерного расчета конструктивно-технологических параметров устройства для подбора и измельчения органических отходов тепличного производства включает использование общепринятых числовых значений конструктивных и механико-технологических параметров, применяемых при инженерном расчете барабанных измельчителей грубых стебельчатых кормов [5–11]:

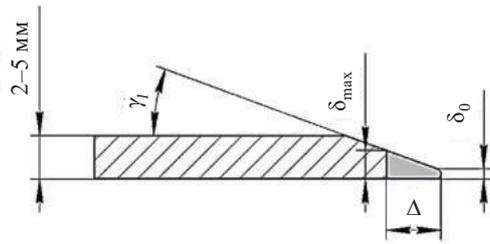


Рисунок 2 – Схема к определению параметров лезвия ножа

- угол заточки ножа $\gamma_1 = 12\text{--}22^\circ$ (рисунок 2);
- острота лезвия $\delta_0 = 20\text{--}40$ мкм (при затуплении лезвия допускается острота $\delta_{\max} = 100$ мкм) (рисунок 2);
- ширина стачиваемой части лезвия $\Delta = 250\text{--}500$ мкм (рисунок 2);
- зазор режущей пары δ (для барабанных режущих аппаратов $\delta = 1,5\text{--}4,6$ мм);
- угол защемления материала χ (для барабанных режущих аппаратов $\chi = 24^\circ\text{--}30^\circ$);
- угол скольжения ножа $\tau = 17^\circ\text{--}30^\circ$;
- объемная масса стебельчатых кормов $\rho_c = 90\text{--}120$ кг/м³;
- модуль упругости материала прожилки $E' = 15\text{--}30$ МПа;
- модуль упругости основного материала $E'' = 3\text{--}4$ МПа.

Основными параметрами измельчительного аппарата являются расположение горловины относительно оси ножевого барабана и его диаметр.

Расположение горловины относительно оси вала ножевого барабана по вертикали (рисунок 3, а) обусловлено кинематическим режимом работы измельчающего аппарата и в данном случае зависит от соотношения поступательной скорости $v_{\text{сл}}$ слоя измельчаемого растительного материала и горизонтальной составляющей $v_{\text{гор}}$ окружной скорости барабана $v_{\text{б}}$.

Из схемы (рисунок 3, а) видно, что горизонтальная составляющая скорости лезвия при повороте барабана на 90° изменяет свое значение от $-v_{\text{б}}$ до 0 и при повороте еще на 90° от 0 до $+v_{\text{б}}$. В то же время поступательная скорость $v_{\text{сл}}$ подачи слоя остается постоянной по величине и направлению.

При встрече лезвия со слоем в I квадранте растительный материал слоя будет отталкиваться ножом, что препятствует поступлению материала в ножевой барабан и нарушает процесс резания.

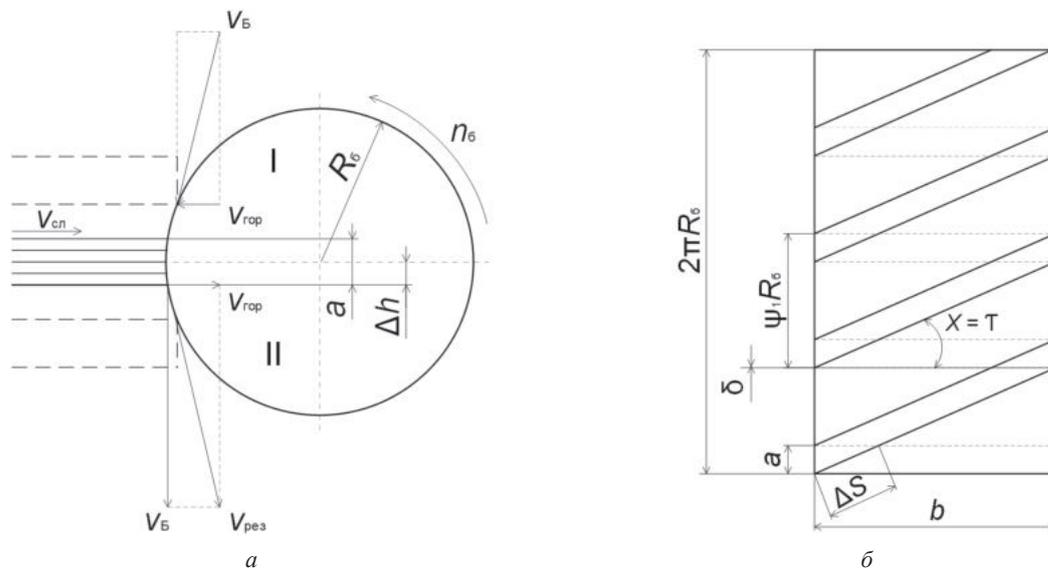


Рисунок 3 – Схема к расчету рабочего органа измельчающего аппарата: а – схема к обоснованию высоты расположения оси ножевого барабана над противорежущей пластиной; б – диаграмма усилий резания барабана при величине интервала между лезвиями последующих ножей $\delta = 0$

При встрече во II квадранте лезвие будет способствовать втягиванию слоя в зазор режущей пары, обеспечивая этим более благоприятные условия работы измельчающего аппарата. Следовательно, подача материала к ножу должна осуществляться во II квадранте ножевого барабана и именно около горизонтальной оси ножевого барабана, так как далее его результирующая скорость будет направлена почти вдоль слоя и условия рабочего процесса будут нарушены. В связи с этим горловину в измельчающем аппарате необходимо делать небольшой высоты, и материал в ножевой барабан подавать тонким слоем.

На характер изменения общей диаграммы усилий резания ножевого барабана оказывает существенное влияние взаимное расположение ножей на ножевом барабане [12]. В зависимости от расположения ножей и угла их наклона резание барабаном может быть прерывистым или непрерывным. Непрерывное резание, в свою очередь, может быть с переменным или постоянным усилием резания. Характер резания зависит от суммарной длины лезвий, участвующих в работе в каждый момент. Наиболее рациональной работа измельчающего аппарата, очевидно, будет при непрерывном резании и с постоянным усилием [12].

Как видно из общей диаграммы, приведенной в работе, активная длина лезвия в начале увеличивается, затем остается постоянной и к концу отрезания уменьшается до нуля. В соответствии с этим изменяется и нагрузка на вал ножевого барабана. Чтобы нагрузка на вал была равномерной, необходимо, чтобы по мере уменьшения активной длины одного лезвия настолько же увеличивалась длина следующего. Это произойдет, если начало лезвия последующего ножа будет установлено без зазора и перекрытия конца лезвия предыдущего. Для обеспечения этого условия необходимо, чтобы ножи в барабанном режущем аппарате устанавливались с перекрытием на величину a (рисунок 3, б).

Теоретическая производительность ножевого барабана определяется по формуле:

$$Q_m = a_{\max} b_r l_{\text{расч}} \rho_c z n_{\text{б}},$$

где a_{\max} – максимально допустимая толщина подаваемого в ножевой барабан слоя растительного материала, мм; b_r – ширина загрузочной горловины, равная ширине ножевого барабана, мм; $l_{\text{расч}}$ – расчетная длина резки, мм.

$$l_{\text{расч}} = \frac{v_{\text{сл}} \cdot 60\,000}{z n_{\text{б}}}, \quad (1)$$

где $n_{\text{б}}$ – частота вращения ножевого барабана, мин^{-1} .

В современных режущих аппаратах частоту вращения барабана обычно принимают в пределах от 800 до 1 500 мин^{-1} , расчетная длина резки соответствует степени измельчения растительных остатков:

$$v_{\text{сл}} = \frac{\pi d_{\text{пв}} n_{\text{пв}}}{60} \eta,$$

где $d_{\text{пв}}$ – диаметр подающего вальца, мм; $n_{\text{пв}}$ – частота вращения подающего вальца, мин^{-1} ; η – коэффициент пробуксовывания растительного материала, $\eta = 0,87$, ρ_c – плотность растительного материала на входе горловины, кг/м^3 .

По результатам проведенных экспериментальных исследований значения плотности слоя равны:

- для соломы $\rho_c = 120\text{--}160 \text{ кг/м}^3$;
- для зеленой массы $\rho_c = 350\text{--}500 \text{ кг/м}^3$.
- z – количество ножей на барабане, шт.

При известной длине резки частиц растительных остатков из формулы (1) можно определить число ножей ножевого барабана:

$$z = \frac{v_{\text{сл}} \cdot 60\,000}{n_{\text{б}} l_{\text{расч}}}.$$

Во всех случаях полученное по данному выражению количество ножей округляют до целого числа и, как правило, берут четным, так как при замене ножа, вышедшего из строя, или при необ-

ходимости изменить их количество, снимая противоположный парный нож, можно уравновесить ножевой барабан.

Фактическая производительность составляет 50–70 % от теоретической:

$$Q_n = (0,5 - 0,7)Q_m.$$

Диаметр ножевого барабана определяется по формуле:

$$D_6 = z \frac{L_6 \operatorname{tg} \tau + \delta}{\pi},$$

где δ – величина интервала между лезвиями последующих ножей, мм, $\delta = 0$; τ – угол скольжения ножа, град. (в ножевом барабане равный углу защемления материала χ).

Ширина ножевого барабана может быть определена по формуле:

$$L_6 = \frac{\varphi_{\text{закр}} D_6}{2 \operatorname{tg} \tau},$$

где $\varphi_{\text{закр}}$ – угол закручивания ножа, рад.

Ширина ножевого барабана должна удовлетворять условию:

$$\varphi_{\text{закр}} = \frac{L_6^2 \operatorname{tg} \tau}{D_6} < 1,57.$$

Величина расположения оси ножевого барабана над противорежущей пластиной определяется по формуле:

$$\Delta h = \frac{D_6 v_{\text{сл}}}{2 v_6},$$

где D_6 – диаметр режущего барабана, мм; $v_{\text{сл}}$ – скорость подачи слоя измельчаемого растительного материала, м/с; v_6 – окружная скорость режущего барабана, м/с.

$$v_6 = \frac{\pi D_6 n_6}{60},$$

Толщину слоя растительного материала, как и высоту загрузочной горловины выбирают, исходя из условия наиболее выгодного резания. Чем тоньше слой, тем меньше удельная работа, необходимая для его перерезания, и, следовательно, рациональнее резание. Барабанный измельчающий аппарат, благодаря возможности применения широкой горловины без конструктивных усложнений машины позволяет осуществлять тонкослойное резание.

Предельная высота загрузочной горловины на практике определяется по формуле:

$$h_{\text{max}} = 0,25 D_6.$$

Задавшись конкретными значениями, определили по приведенным выше формулам конструктивно-технологические параметры устройства для подбора и измельчения органических отходов тепличного производства. Результаты расчетов приведены в таблице.

Основные конструктивные параметры устройства для подбора и измельчения органических отходов тепличного производства

Наименование показателя	Значение
Скорость слоя измельчаемого растительного материала, $v_{\text{сл}}$, м/с, не более	1,4
Ширина транспортировочного полотна, $b_{\text{тп}}$, мм, не более	600
Длина транспортировочного полотна, $l_{\text{тп}}$, мм	2 000
Ширина загрузочной горловины, b_r , мм	500
Высота загрузочной горловины, h_r , мм	100
Частота вращения шнека, $n_{\text{ш}}$, мин^{-1}	180
Диаметр шнека со встречной навивкой, $d_{\text{ш}}$, мм	300

Наименование показателя	Значение
Ширина шнека со встречной навивкой, $b_{ш}$, мм	600
Частота вращения режущего барабана, $n_б$, мин ⁻¹	800
Диаметр ножевого барабана, $D_б$, мм	400
Ширина ножевого барабана, $B_б$, мм	500
Количество ножей, z , шт	2
Угол заточки ножа, γ_1 , °	17
Острота лезвия, δ_0 , мкм	30
Ширина стачиваемой части лезвия, Δ , мкм	375
Зазор режущей пары, δ , мм	3,05
Угол защемления материала, χ , °	27
Угол скольжения ножа, τ , °	23,5

Заключение

В результате проведенных исследований получены следующие результаты:

- обоснована конструктивно-технологическая схема устройства для подбора и измельчения органических отходов тепличного производства, состоящая из двух основных узлов: питающего и измельчающего аппаратов;
- обоснована конструкция рабочего органа измельчающего аппарата, в качестве которого принят односекционный ножевой барабан с расположенными наклонно прямолинейными ножами;
- обоснованы основные конструктивные параметры устройства для подбора и измельчения органических отходов тепличного производства.

Список использованных источников

1. Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь. – Минск, 2007–2025. – URL: https://mshp.gov.by/ru/protokol_prog1-ru (дата обращения: 16.11.2024).
2. Новости сельского хозяйства. – Минск, 2007–2025. – URL: <https://www.infobaza.by/agriculture/11021.html> (дата обращения: 10.11.2024).
3. Национальный статистический комитет Республики Беларусь [сайт]. – Минск, 1998–2025. – URL: https://www.belstat.gov.by/o-belstate_2/novosti-imeropriyatiya/novosti/o_proizvodstve_selskokhozyaystvennoy_produktsii_v_2024_godu/ (дата обращения: 18.12.2024).
4. НТП 10-95 «Нормы проектирования теплиц и тепличных комбинатов для выращивания овощей и рассады». – Введ. 01.07.1996. – М. : Ротапринт Гипронисельпром, 1999. – 62 с.
5. Крамаренко, Л. П. Сопротивление растений перерезанию / Л. П. Крамаренко // Теория, конструкция и производство сельскохозяйственных машин ; под общ. ред. В. П. Горячкина. – М. : Сельхозгиз, 1936. – Т. 2. – 536 с.
6. Мельников, С. В. Механизация и автоматизация животноводческих ферм / С. В. Мельников – Л. : Колос, Ленинград. отделение, 1978. – 560 с.
7. Романович, А. А. Оптимизация параметров и режимов работы машин и оборудования в животноводстве : учеб. пособие / А. А. Романович, И. И. Скорб. – Минск : БГАТУ, 2020. – 132 с.
8. Сегменты, пластины противорежущие и полосы ножевые режущих аппаратов сельскохозяйственных машин. Технические условия : ГОСТ 158-74 ; введ. 01.01.1975. – М. : Государственный комитет стандартов Совета Министров СССР, 1975. – 12 с.
9. Пальцы режущих аппаратов сельскохозяйственных машин. Технические условия : ГОСТ 19777-74 ; введ. 01.01.1975. – М. : Государственный комитет стандартов Совета Министров СССР, 1975. – 19 с.
10. Резник, Н. Е. Силосоуборочные комбайны: теория и расчет / Н. Е. Резник – М. : Машиностроение, 1964. – 446 с.
11. Рустамов, С. И. Физико-механические свойства растений и совершенствование режущих аппаратов уборочных машин / С. И. Рустамов. – Донецк : Вища школа, 1981. – 172 с.
12. Резник, Н. Е. Теория резания лезвием и основы расчета режущих аппаратов / Н. Е. Резник. – М. : Машиностроение, 1975. – 311 с.