

Т. А. Непарко¹, В. Б. Ловкис¹, Н. Н. Быков¹, Э. В. Дыба²

¹УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: mta_mtp@bsatu.by

²РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: dibua-18@mail.ru

ЛЕНТОЧНЫЙ ВАЛКОВАТЕЛЬ: ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ

Аннотация. В статье представлена методика определения функциональных показателей как производственных функций при формировании рационального комплекса машин для заготовки высококачественных кормов в конкретных условиях, с учетом которых выполнено моделирование процесса сгребания просушенной (проявленной) массы в валки ленточным валкователем на базе различных тракторов. Определена целевая функция выбора рационального состава и режимов работы машинно-тракторных агрегатов для заданной технологической операции.

Ключевые слова: валкователь, кормопроизводство, функциональный показатель, производительность, своевременность, непрерывность, ритмичность.

T. A. Neparko¹, V. B. Lovkis¹, N. N. Bykov¹, E. V. Dyba²

¹EI “Belarusian State Agrarian Technical University”

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: mta_mtp@bsatu.by

²RUE “SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization”

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: dibua-18@mail.ru

BELT ROLLER: FUNCTIONAL INDICATORS

Abstract. The article presents a methodology for determining functional indicators as production functions in the formation of a rational complex of machines for the procurement of high-quality feed in specific conditions, taking into account which the process of raking dried (wilted) mass into windrows using a belt rake based on various tractors was simulated, and the target function for selecting the rational composition and operating modes of machine and tractor units for a given technological operation was determined.

Keywords: swather, forage production, functional indicator, productivity, timeliness, continuity, rhythm.

Введение

При формировании рационального комплекса машин для заготовки высококачественных кормов в конкретных условиях необходимо систематизировать производственные функции в виде задач повышения эффективности его использования и выразить их в виде целей: повышение функциональных показателей, снижение эксплуатационных затрат и повышение экологичности производства.

Коллектив авторов УО «Белорусский государственный аграрный технический университет» и РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» при выполнении научно-исследовательских работ по заданию 15 «Обосновать основные параметры, разработать и освоить производство ленточного валкователя» подпрограммы «Белсельхоз-механизация-2025» ГНТП «Инновационные агропромышленные и продовольственные технологии» 2021–2025 гг. разработали методику определения функциональных показателей, которые отражают уровень выполнения основных производственных функций, соответствующих принципам построения механизированных процессов: своевременности, непрерывности и ритмичности проведения работ, ресурсосбережения и экологичности процессов.

Основная часть

Принцип своевременности предусматривает выполнение механизированных работ в оптимальные агротехнические сроки и обеспечение минимальных суммарных затрат на выполнение работ и потерь от недобора урожая при увеличении агротехнических сроков.

Потери урожая от превышения продолжительности работ в сравнении с оптимальной в границах сравнительно небольшого промежутка времени (до 20 дней) можно описать следующей линейной зависимостью:

$$H_y = H_{y_{\max}} (1 - k_{\pi i} D_i), \quad (1)$$

где H_y – фактически собранный урожай y -й культуры, т/га; $H_{y_{\max}}$ – запланированный урожай при выполнении технологической операции в оптимальные сроки, т/га; i – индекс механизированной работы ($i \in I$); y – вид сельскохозяйственной культуры ($y \in Y$); $k_{\pi i}$ – коэффициент потерь при увеличении продолжительности i -й операции на 1 га в сравнении со следующим оптимальным сроком [1]:

$$k_{\pi i} = \frac{H_{y_{\max}} - H_y}{H_{y_{\max}} D_i}, \quad (2)$$

где D_i – продолжительность i -й операции, дней.

Продолжительность операции D_i определяется многолетней практикой заготовки кормов в Республике Беларусь. Однако начало выполнения операций в конкретном сельскохозяйственном предприятии должно корректироваться каждый год, а количество рабочих дней не должно превышать нормативную продолжительность механизированных работ для условий республики D_n [2–4].

Недополучение денежных средств от потерь урожая кормовых культур составят, у. е.

$$S_{\pi i} = k_{\pi i} H_{y_{\max}} C_{\pi} D_i, \quad (3)$$

где C_{π} – цена продукции, у. е./т.

Сокращение сроков проведения работ также связано с дополнительными капиталовложениями на приобретение и эксплуатацию техники, у. е./га

$$S_{ai} = \frac{\sum_{j=1}^n B_{ijs} \left(\frac{a_{aijs}}{100} + E \right) k_{ijs}}{W_{cmijs} k_{cmijs} D_{ijs}}, \quad (4)$$

где S_{ai} – удельные затраты на технику, у. е./га; j – индекс марки энергетического средства ($j \in J$); s – индекс марки сельскохозяйственной машины ($s \in S$); B_{ijs} – балансовая стоимость j -го энергетического средства s -й сельскохозяйственной машины на i -й операции, у. е.; a_{aijs} – норма амортизационных отчислений j -го энергетического средства s -й сельскохозяйственной машины на i -й операции, %; E – коэффициент эффективности капиталовложений; k_{ijs} – коэффициент использования js -го агрегата на i -й операции относительно общего времени использования в течение года D_{ijs} :

$$k_{ijs} = \frac{D_{ijs}}{D_{\Gamma js}}, \quad (5)$$

где W_{cmijs} – выработка за смену js -го агрегата на i -й операции, га (т)/см; k_{cmijs} – коэффициент сменности, определяемый по формуле

$$k_{cmijs} = \frac{T_{сутijs}}{T_{см}}, \quad (6)$$

где $T_{сутijs}$ – количество часов работы js -го агрегата на i -й операции в течение суток, ч; $T_{см}$ – нормативное время смены (7 ч на полевых работах), ч.

Общие затраты от потери продукции и затрат на технику будут равны

$$S_{3i} = S_{a_i} + S_{n_i} = \frac{\sum_{i=1}^n B_{ijs} \left(\frac{a_{ijs}}{100} + E \right) k_{ijs}}{W_{cmijs} k_{cmijs} D_i} + k_{n_i} Y_{\max} C_n D_i \rightarrow \min. \quad (7)$$

Данная функция достигнет своего экстремума, если производную затрат по продолжительности операции приравнять к нулю, т. е.

$$\frac{dS_{3i}}{dD_i} = 0. \quad (8)$$

Тогда оптимальную продолжительность механизированных работ можно рассчитать по следующей формуле:

$$D_{\text{опт}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n B_{ijs} \left(\frac{a_{ijs}}{100} + E \right) k_{ijs}}{W_{cmijs} k_{cmijs} k_{n_i} Y_{\max} C_n}}. \quad (9)$$

Принцип своевременности обеспечивается необходимым количеством технических средств и эффективностью их использования, т. е. производительностью. Непродолжительный вегетационный период в условиях республики, большой объем кормозаготовительных работ обуславливают весьма жесткие требования к срокам проведения полевых работ. При наличии определенного количества технических средств продолжительность различных операций можно сократить только до установленных значений. Дальнейшее сокращение возможно, если возрастет количество технических средств. Это приводит, с одной стороны, к увеличению урожайности, с другой – удорожанию машинно-тракторного парка. Поэтому при определении необходимого количества агрегатов N_{ijs} для выполнения технологической операции в оптимальные агротехнические сроки $D_{\text{опт}}$ целесообразно использовать детерминированную зависимость

$$N_{ijs} = \frac{U_{ijs}}{W_{cmijs} k_{cmijs} D_{\text{опт}}}, \quad (10)$$

где U_{ijs} – объем работ js -го агрегата на i -й операции, га (т).

Известно, что состав и параметры агрегатов в конкретных условиях эксплуатации предопределяют возможные, в том числе и рациональные, режимы их работы. За рациональные принимают такие состав и режимы работы машинно-тракторных агрегатов, «всякие возможные изменения которых не улучшают технико-экономические или технологические показатели работы агрегата, и не увеличивают производительную эффективность или полезность» [5]. На производительность агрегата оказывают влияние его техническое состояние, качество подготовки агрегата к работе, правильность комплектования, сокращение простоев по техническим и организационным причинам, разметка полей и подготовка их к работе, выбор рационального способа движения и режима работы МТА и ряд других факторов.

Повышение интенсивной загрузки агрегатов описывается функциональной зависимостью

$$W = f(b_p, v_p, \tau). \quad (11)$$

Вопросы выбора ширины захвата b_p или расчета количества машин-орудий для различных машинно-тракторных агрегатов, а также связанные с этим вопросы организации и технологии выполнения механизированных работ подробно рассмотрены С. А. Иофиновым, Ю. К. Киртбая, Р. Ш. Хабатовым, В. В. Кацыгиным, Н. Э. Фере, А. А. Зангиевым, Г. Ф. Добышем, Т. А. Непарко и другими учеными. Установлено, что, стремясь повысить производительность МТА путем увеличения ширины захвата, сталкиваются с тем, что ухудшается баланс времени смены: растут непроизводительные потери времени на повороты агрегата в конце гона, обработку поворот-

ных полос, перестроения агрегата из рабочего в транспортное положение и наоборот, переезды с участка на участок и т. п. С другой стороны, увеличивая скорость движения МТА при неизменной ширине захвата, можно добиться повышения производительности и качества выполняемой работы. Однако одновременно с увеличением скорости повышается тяговое сопротивление рабочей машины, увеличиваются потери мощности на самопередвижение агрегата, ухудшается управляемость МТА и удобство работы водителя. Поэтому эффективность использования мобильных сельскохозяйственных машинно-тракторных агрегатов зависит от правильного выбора соотношения между скоростью движения и шириной захвата. В каждом конкретном случае принятию решения должны предшествовать комплексные исследования предполагаемых затрат и ожидаемых результатов.

Для того чтобы учесть возможности применения различных агрегатов для моделирования сельскохозяйственных операций значения ширины захвата, представим в виде следующей дискретной равномерно распределенной случайной величины b_{pijs} :

$$b_{pijs} = \varphi(i, f \dots l). \quad (12)$$

Необходимым условием комплектования рациональных агрегатов для обработки заданного участка f поля площадью F является соответствие тягово-энергетических возможностей трактора энергетической потребности сельскохозяйственных машин. Мера приближения к оптимальной степени использования тягового усилия энергетического средства может быть задана целевой функцией

$$\eta_{\tau p i j f} = \frac{R_{i j s f}}{P_{\tau n i j f} + G_{i j f} \frac{\alpha_f}{100}} \rightarrow \eta_{\tau p i j f}^{\text{опт}}, \quad (13)$$

при ограничениях по скорости

$$v_{p i j s f}^{\min} \leq v_{p i j s f} \leq v_{p i j s f}^{\max} \quad (14)$$

и максимальной загрузкой двигателя

$$\frac{N_{e p i j f}}{N_{e n i j f}} - \eta_{N e i j f} \rightarrow \min, \quad (15)$$

где $R_{i j s f}$ – тяговое сопротивление машины, кН; $G_{i j f}$ – вес j -й энергомашины, кН; $v_{p i j s f}$ – рабочая скорость агрегата, м/с; α_f – уклон f -го участка в долях единицы; $\eta_{N e i j s f}$ – коэффициент загрузки двигателя; $P_{\tau n i j f}$ – номинальное тяговое усилие j -го энергетического средства, кН; $N_{e p i j f}$, $N_{e n i j f}$ – мощность, на которую загружен двигатель на рабочем режиме, и номинальная мощность двигателя j -й энергомашины, кВт; $\eta_{\tau p i j f}$, $\eta_{\tau p i j f}^{\text{опт}}$ – фактический и оптимальный тяговый КПД j -го энергетического средства [6–11]

$$\eta_{\tau i j f} = \eta_{f i j f} \eta_{\delta i j f} \eta_{m i j f}, \quad (16)$$

где $\eta_{f i j f}$ – КПД, учитывающий потери мощности на перекачивание j -го энергетического средства; $\eta_{m i j f}$ – КПД, учитывающий потери мощности в трансмиссии j -й энергомашины на i -й операции на f -м участке поля; $\eta_{\delta i j f}$ – КПД, учитывающий потери мощности от буксования; f – индекс номера участка поля ($f \in F$).

При неустановившемся движении МТА тяговое сопротивление агрегата носит случайный характер как во времени, так и в пространстве, распределение которого соответствует нормальному закону и характеризуется размахом варьирования

$$W_{R i j s f} = R_{\max i j s f} - R_{\min i j s f} \quad (17)$$

и степени неравномерности, характеризующей необходимый запас тягового усилия трактора

$$\sigma_{R_{ijsf}} = \frac{R_{\max ijsf} - R_{\min ijsf}}{R_{\text{ср} ijsf}}, \quad (18)$$

где $R_{\max ijsf}$, $R_{\min ijsf}$, $R_{\text{ср} ijsf}$ – соответственно максимальное, минимальное и среднее арифметическое значение тягового сопротивления машины, кН.

С повышением плотности почвы $\sigma_{R_{ijsf}}$ возрастает, а с увеличением количества машин в агрегате – уменьшается.

Тяговое сопротивление агрегата определяют по выражению

$$R_{ijsf} = Mk_{0ijsf} b_{ijsf} \left(1 + e_{ijs} (v_{p ijsf} - v) \right) \pm G_{ijf} \alpha_f, \quad (19)$$

где Mk_{0ijsf} – математическое ожидание удельного сопротивления рабочей машины при скорости v , кН/м; e_{ijs} – коэффициенты увеличения сопротивления рабочей машины на единицу увеличения скорости; v – скорость движения рабочей машины, м/с.

Диапазон скоростей движения агрегата, соответствующий диапазону степени загрузки двигателя, можно выбрать графоаналитическим способом, совмещая тяговую характеристику энергетического средства и характеристику сопротивления сельскохозяйственной машины [6–11]

$$v_{p ijs} = \sum_{P_{кр}^{-t\sigma}}^{P_{кр}^{+t\sigma}} v\varphi(P_{кр}), \quad (20)$$

где $P_{кр}$ – тяговое усилие на крюке, кН; $\varphi(P_{кр})$ – плотность вероятности распределения тягового усилия на крюке; t – аргумент функции распределения тягового усилия; σ – среднее квадратическое отклонение тягового усилия, кН, либо рассчитав рабочую скорость движения, исходя из условия наиболее полной загрузки двигателя трактора

$$v_{p ijsf}^{Ne} = \frac{\frac{\eta_{Ne ijsf} - Ne_{\text{вoм} ijsf}}{Ne_{\text{н} ijsf}} \eta_{\text{мг} ijsf} \eta_{\delta ijsf}}{R_{ijsf} + G_{ijf} (f_{\tau ijsf} + \alpha_f)}, \quad (21)$$

в пределах агротехнически допустимых значений

$$v_{p ijsf} \leq v_{a ijsf}, \quad (22)$$

с учетом пропускной способности основного рабочего органа

$$v_{ijsf}^q = \frac{10q_{ijsf}}{b_{p ijsf} H_{yf}}, \quad (23)$$

где $Ne_{\text{вoм} ijsf}$ – мощность, затрачиваемая двигателем на привод механизмов рабочих машин, кВт; $f_{\tau ijsf}$ – коэффициент сопротивления перекачиванию j -й энергомашины; q_{ijsf} – допустимая пропускная способность основного рабочего органа js -го агрегата, кг/с; $b_{p ijsf}$ – рабочая ширина захвата js -го агрегата, м; H_{yf} – биологическая урожайность y -й культуры на f -м участке, т/га.

Фактическая мощность двигателя, используемая на работу агрегата в случае ограничения скорости движения агротехническими требованиями или пропускной способностью рабочей машины, рассчитывается по следующей формуле:

$$Ne_{p ijsf} = \frac{\frac{R_{ijsf} + G_{ijf} \alpha_f}{\eta_{\tau ijsf}} + Ne_{\text{вoм}}}{v_{p ijsf}} \quad (24)$$

и ограничивается условием (15).

Как уже отмечалось (12), производительность машинно-тракторного агрегата $W_{\text{чijsf}}$ (га/ч) зависит от рабочей скорости v_{pijsf} (м/с), ширины захвата b_{pijsf} (м) и коэффициента использования времени смены τ_{ijsf} , т. е.

$$W_{\text{чijsf}} = 0,36b_{\text{pijsf}} v_{\text{pijsf}} \tau_{\text{ijsf}}. \quad (25)$$

Полагая, что скоростной режим агрегата v_{pijsf} и комплектование машинами-орудиями для данной операции b_{pijsf} выбраны оптимальными, из приведенного выражения (24) видно, что производительность существенно зависит от величины τ , комплексно характеризующего естественно-производственные условия работы МТА.

Коэффициент использования времени смены в общем виде может быть представлен уравнением

$$\tau_{\text{ijsf}} = \frac{\tau_{\text{пзijsf}}}{\frac{1}{\tau_{\text{двijsf}}} + \frac{1}{\tau_{\text{тоijsf}}} + \frac{1}{\tau_{\text{тнijsf}}} + \frac{1}{\tau_{\text{нijsf}}} + \frac{1}{\tau_{\text{пijsf}}} - 4}, \quad (26)$$

где частные коэффициенты, учитывающие: $\tau_{\text{пзijsf}}$ – время на подготовительно-заключительные операции; $\tau_{\text{двijsf}}$ – использование времени движения; $\tau_{\text{тоijsf}}$ – время на технологическое обслуживание; $\tau_{\text{тнijsf}}$ – время на устранение нарушений технологического процесса; $\tau_{\text{нijsf}}$ – техническую надежность агрегата; $\tau_{\text{пijsf}}$ – перестроение агрегата из рабочего в транспортное положение и обратно, время переезда с участка на участок.

Отдельные коэффициенты использования времени смены зависят от b_{pijsf} и v_{pijsf} и могут быть определены из следующих выражений:

$$\tau_{\text{двijsf}} = \frac{T_{\text{pijsf}}}{T_{\text{pijsf}} + T_{\text{xijsf}}} = \frac{1}{1 + \frac{b_{\text{pijsf}} v_{\text{pijsf}} k_{\text{x}_i}}{v_{\text{xijsf}} L_{\text{pij}}}}, \quad (27)$$

$$\tau_{\text{тоijsf}} = \frac{T_{\text{pijsf}}}{T_{\text{pijsf}} + T_{\text{тоijsf}}} = \frac{1}{1 + \frac{b_{\text{pijsf}} v_{\text{pijsf}} t_{\text{тоijsf}} H_{\text{yf}}}{Q_{\text{ijsf}} N_{\text{ijsf}}}}, \quad (28)$$

$$\tau_{\text{тнijsf}} = \frac{T_{\text{pijsf}}}{T_{\text{pijsf}} + T_{\text{тнijsf}}} = \frac{1}{1 + 0,36b_{\text{pijsf}} v_{\text{pijsf}} t_{\text{тнijsf}}}, \quad (29)$$

$$\tau_{\text{нijsf}} = \frac{T_{\text{pijsf}}}{T_{\text{pijsf}} + T_{\text{нijsf}}} = \frac{1}{1 + 0,36b_{\text{pijsf}} v_{\text{pijsf}} t_{\text{нijsf}}}, \quad (30)$$

$$\tau_{\text{пijsf}} = \frac{T_{\text{pijsf}}}{T_{\text{pijsf}} + T_{\text{пijsf}}} = \frac{1}{1 + \frac{0,36b_{\text{pijsf}} v_{\text{pijsf}}}{10^4 F_i} \left(\frac{L_{\text{пijsf}}}{v_{\text{пijsf}}} + N_{\text{ijsf}} t_{\text{пijsf}} \right)}. \quad (31)$$

С учетом выражений (27–31) после некоторых преобразований коэффициент использования времени смены равен

$$\tau_{\text{ijsf}} = \frac{\tau_{\text{пзijsf}}}{1 + v_{\text{pijsf}} \left\{ \frac{L_{\text{пijsf}}}{v_{\text{xijsf}} L_{\text{pijsf}}} + \frac{b_{\text{pijsf}} t_{\text{тоijsf}} H_{\text{yf}}}{Q_{\text{ijsf}} N_{\text{ijsf}}} \right\} + 0,36b_{\text{pijsf}} v_{\text{pijsf}} \left[t_{\text{тнijsf}} + \frac{t_{\text{нijsf}}}{10^4 F_i} \left(\frac{L_{\text{пijsf}}}{v_{\text{пijsf}}} + N_{\text{ijsf}} t_{\text{пijsf}} \right) \right]}, \quad (32)$$

где L_{pijsf} – рабочая длина гона, м; T_{pijsf} – чистое рабочее время смены, ч; T_{xijsf} – время холостых поворотов за смену, ч; v_{pijsf} , v_{xijsf} – скорость рабочего и холостого ходов, м/с; k_{x_i} – кинематическая характеристика агрегата:

$$k_{x_i} = \frac{l_{пijsf}}{b_{пijsf}}, \quad (33)$$

где $l_{пijsf}$ – длина поворота агрегата, м; $T_{тоijsf}$ – время остановок агрегата на технологическое обслуживание, ч; $t_{тоijsf}$ – продолжительность одного простоя для загрузки технологических емкостей, с; Q_{ijsf} – вместимость технологической емкости, кг; $T_{тнijsf}$ – время остановок для устранения нарушений технологического процесса, ч; $t_{тнijsf}$ – относительное время остановок для устранения нарушений технологического процесса, с/м²; $T_{нijsf}$ – время простоев по техническим неисправностям, ч; $t_{нijsf}$ – относительное время технической неисправности агрегата, с/м²; $T_{пijsf}$ – время переездов за смену, ч; $L_{пijsf}$ – расстояние переезда агрегата с поля на поле в течение смены, м; $v_{пijsf}$ – скорость движения агрегата при переездах, м/с; $t_{пijsf}$ – время перестроения агрегата из рабочего в транспортное положение и обратно, с.

Сменная производительность определяется по типовой методике [6–11]

$$W_{смijsf} = W_{чijsf} T_{см}. \quad (34)$$

При организации производственного процесса неизбежны простои МТА по техническим неисправностям. Вероятность безотказной работы агрегата в произвольно выбранный момент времени в промежутках между плановыми техническими обслуживаниями, т. е. ритмичность работ, учитывается частным коэффициентом технической надежности агрегата (30), или может быть принята по нормативным данным [12, 13]

$$t_{нijsf} = k_{тijsf}, \quad (35)$$

где $k_{тijsf}$ – коэффициент технической готовности техники в реальных условиях эксплуатации.

Наряду с технологически обусловленными внутрисменными простоями при длительной эксплуатации машин имеют место затраты и потери времени из-за метеорологических условий.

Наработка МТА за календарный период

$$W_{js}^k = W_{смijs} k_{им_i} D_{опт}, \quad (36)$$

где $k_{им_i}$ – коэффициент использования времени i -й операции по метеорологическим условиям [3, 11].

Производительность агрегата зависит также от срока эксплуатации входящих в него технических средств. Снижение наработки тракторов и сложной сельскохозяйственной техники с увеличением срока службы происходит вследствие повышения интенсивности отказов по мере износа машин и увеличения продолжительности времени на их устранение.

С учетом возраста трактора и/или сложной сельскохозяйственной машины наработка МТА за календарный период

$$W_{js}^{k'} = W_{js}^k k_{t_{js}}, \quad (37)$$

где $k_{t_{js}}$ – коэффициент, учитывающий потери годовой наработки j -го трактора (s -й сложной сельскохозяйственной машины) с увеличением срока службы [12]; t – год эксплуатации j -го трактора (s -й сложной сельскохозяйственной машины).

Заключение

Для моделирования процесса сгребания просушенной (проявленной) массы в валки ленточным валкователем на базе различных тракторов, формирования рационального комплекса машин для заготовки высококачественных кормов в конкретных условиях разработана методика определения функциональных показателей, отражающих уровень выполнения основных производственных функций, соответствующих принципам построения механизированных процессов.

Работа выполнялась в рамках задания 15 «Обосновать основные параметры, разработать и освоить производство ленточного валкователя» подпрограммы «Белсельхозмеханизация-2025» ГНТП «Инновационные агропромышленные и продовольственные технологии» 2021–2025 гг.

Список использованных источников

1. Программный комплекс мер по развитию кормопроизводства на 2021–2025 годы : утв. заместителем Премьер-министра Республики Беларусь от 16 марта 2021 г. № 06/217-261/220.
2. Технологии и техническое обеспечение производства продукции растениеводства. Практикум : учеб. пособие / Т. А. Непарко [и др.] ; под ред. Т. А. Непарко. – Мн. : ИВЦ Минфина, 2018. – 220 с.
3. Непарко, Т. А. Технологии и техническое обеспечение производства продукции растениеводства : учеб. пособие / Т. А. Непарко, А. В. Новиков, И. Н. Шило ; под общ. ред. Т. А. Непарко. – Мн. : ИВЦ Минфина, 2015. – 199 с.
4. Техническое обеспечение производства продукции растениеводства. Практикум : учеб. пособие / А. В. Новиков, А. П. Ляхов, Т. А. Непарко [и др.] ; под ред. А. В. Новикова. – Мн. : БГАТУ, 2011. – 408 с.
5. Завалишин, Ф. С. Основы расчета механизированных процессов в растениеводстве / Ф. С. Завалишин. – М. : Колос, 1973. – 317 с.
6. Техническое обеспечение производства продукции растениеводства : учебник / А. В. Новиков, А. П. Ляхов, Т. А. Непарко [и др.] ; под ред. А. В. Новикова. – Мн. : Новое знание ; М. : ИНФРА-М, 2012. – 512 с.
7. Непарко, Т. А. Производственная эксплуатация машинно-тракторного парка. Практикум : учеб. пособие / Т. А. Непарко, Д. А. Жданко, И. Н. Шило ; под ред. Т. А. Непарко. – Мн. : БГАТУ, 2021. – 192 с.
8. Эксплуатация сельскохозяйственной техники : учебник / Ю. В. Бudyко, Г. Ф. Добыш, В. Я. Тимошенко [и др.] ; под ред. Ю. В. Бudyко. – Мн. : Беларусь, 2006. – 512 с.
9. Эксплуатация сельскохозяйственной техники. Практикум : учеб. пособие / И. Н. Шило [и др.] ; под ред. И. Н. Шило. – Мн. : Беларусь, 2008. – 252 с.
10. Техническое обеспечение земледелия : учеб. пособие / А. В. Новиков [и др.]. – Мн. : БГАТУ, 2006. – 384 с.
11. Непарко, Т. А. Технология и техническое обеспечение производства продукции растениеводства : эл. учеб. пособие / Т. А. Непарко ; Минсельхозпрод РБ, БГАТУ, Кафедра ЭМТП и А. – Мн. : БГАТУ, 2023. – URL: <https://rep.bsatu.by/handle/doc/20492> (дата обращения: 12.11.2015).
12. Краткий справочник нормативов трудовых и материальных затрат для ведения сельскохозяйственного производства / сост. Я. Н. Бречко, М. Е. Суманов. – Мн. : БелНИИАЭ, 2000. – 192 с.
13. Справочник нормативов трудовых и материальных затрат для ведения сельскохозяйственного производства / Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, НАН Беларуси, НИУ «БелНИИ аграрной экономики» ; сост. Я. Н. Бречко, М. Е. Суманов ; под ред. В. Г. Гусакова. – 2-е изд., перераб. и доп. – Мн., БелНИИ аграрной экономики, 2002. – 440 с.