

Научная статья  
УДК 633.522:631.352.5  
doi: 10.28983/asj.y2023i9pp144-151

**Расчет мощностного баланса мобильного энергетического средства  
с навесным адаптером для уборки лубяных культур**

**Михаил Евгеньевич Чаплыгин<sup>1</sup>, Роман Андреевич Попов<sup>2</sup>, Сергей Евгеньевич Сенькевич<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, г. Москва, Россия

<sup>2</sup>Федеральный научный центр лубяных культур, г. Тверь, Россия

e-mail: r.popov@fncl.ru

**Аннотация.** Лубяные культуры характеризуются содержанием прочных лубяных волокон в стеблях и значительной высотой посевов. Процесс их уборки предполагает применение узконаправленных и мощных машин. В статье рассмотрен принцип распределения эффективной мощности самоходного уборочного агрегата для лубяных культур. Оценка составляющих мощностного баланса позволяет количественно определить мощностные возможности двигателя и загрузку энергетического средства в агрегате с адаптером на выполнение технологического процесса для различных условий уборки.

**Ключевые слова:** лубяные культуры; мобильное энергосредство; адаптер; мощность; мощностной баланс.

**Для цитирования:** Чаплыгин М. Е., Попов Р. А., Сенькевич С. Е. Расчет мощностного баланса мобильного энергетического средства с навесным адаптером для уборки лубяных культур // Аграрный научный журнал. 2023. № 9. С. 144–151. [http: 10.28983/asj.y2023i9pp144-151](http://10.28983/asj.y2023i9pp144-151).

AGRICULTURAL ENGINEERING

Original article

**Power balance calculation of a mobile energy vehicle with a mounted adapter for harvesting bast crops**

**Mikhail E. Chaplygin<sup>1</sup>, Roman A. Popov<sup>2</sup>, Sergey E. Senkevich<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Federal Scientific Agroengineering Centre VIM, Moscow, Russia

<sup>2</sup>Federal Research Center of Fibre Crops, Tver, Russia

e-mail: r.popov@fncl.ru

**Abstract.** Bast crops are characterized by the content of strong bast fibers in the stems and a significant height of crops. The process of cleaning them involves the use of narrowly focused and powerful machines. The article considers the principle of distribution of the effective power of a self-propelled harvesting unit for bast crops. The evaluation of the components of the power balance will allow quantifying the power capabilities of the engine and the loading of the energy means in the unit with an adapter to perform the technological process for various cleaning conditions.

**Keywords:** bast crops; mobile power equipment; adapter; power; power balance.

**For citation:** Chaplygin M. E., Popov R. A., Senkevich S. E. Power balance calculation of a mobile energy vehicle with a mounted adapter for harvesting bast crops. Agrarnyy nauchnyy zhurnal = The Agrarian Scientific Journal. 2023;(9):144–151. (In Russ.). [http: 10.28983/asj.y2023i9pp144-151](http://10.28983/asj.y2023i9pp144-151).

**Введение.** Лубяные культуры, такие как техническая (безнаркотическая) конопля, кенаф и др., являются ежегодно возобновляемым сырьевым источником и обладают огромным бизнес-потенциалом. Вместе с тем, стебли этих растений характеризуются значительной прочностью, высотой посевов, достигающей 2,0–2,5 и более метров, а также наличием в их структуре прочных лубяных волокон и древесной составляющей (до 70 %) [1, 2, 6].

Механизация уборки лубяных культур по различным направлениям возделывания обусловлена необходимостью сбора семян и волокнистых стеблей, что затрудняет технологический процесс и требует применения узконаправленных и мощных машин, способных за один проход осуществлять сбор урожая без потерь и вынужденных остановок [1, 2, 9]. При этом уборочным машинам приходится работать в самых разнообразных условиях, поскольку лубяные культуры возделываются в различных климатических зонах, с учетом свойственного им агрофона, типа





почв, направлений хозяйственного использования и т.д., в связи с чем именно уборка является самым сложным и трудоемким этапом производства [7].

Существующие машины и технологии уборки требуют совершенствования в связи с изменением экономических условий производства и новыми задачами по повышению качества и конкурентоспособности продукции из лубяных культур. В этой связи на первый план выходит разработка самоходных энергонасыщенных технических средств с минимальными затратами, простых в производстве и обслуживании, адаптированных для различных условий работы, позволяющих обеспечить максимальный сбор сырьевых ресурсов. Расчет составляющих мощностного баланса, определение режимов работы энергосредства является одним из этапов разработки самоходного уборочного агрегата с навесным многофункциональным адаптером для лубяных культур, а также важной и актуальной задачей, решение которой направлено на повышение уровня механизации и эффективности процесса уборки.

В настоящее время известен ряд работ, в которых изложена теория и методы расчета мощностного баланса для классических зерно- и кормоуборочных комбайнов, прицепных агрегатов и других технических средств [3–5, 10, 11], однако вопрос распределения мощностного баланса специализированных технических средств для уборки лубяных культур является малоизученным.

Цель исследования – обоснование распределения составляющих мощностного баланса самоходного уборочного агрегата, затрачиваемых в процессе уборки лубяных культур.

**Методика исследований.** Методика расчета мощностного баланса реализована в виде уравнений распределения эффективной мощности самоходного уборочного агрегата на выполнение технологического процесса и преодоление различных сопротивлений. Оценка составляющих мощностного баланса позволяет количественно спрогнозировать энергетические возможности двигателя, реализуемые через вал отбора мощности (ВОМ) мобильного энергосредства, при различной скорости движения агрегата [10–15].

В качестве мобильного энергосредства в работе использовано универсальное энергосредство типа УЭС, трансмиссия которого позволяет загружать двигатель на номинальную мощность путем изменения диапазона скоростей, что в конечном итоге будет соответствовать изменению полезной нагрузки.

При проведении исследований руководствовались методикой расчета мощностного баланса, изложенной в работе [11], которая, на наш взгляд, представляется наиболее подходящей для уборки лубяных культур, поскольку отражает распределение составляющих мощностного баланса уборочного агрегата и позволяет количественно спрогнозировать мощностные возможности двигателя энергосредства при различных режимах работы. В связи с чем данное исследование было взято нами за основу, однако из-за физико-механических и технологических свойств и строения стеблей, свойственных лубяным культурам, различных условий их уборки, распределение затрачиваемой мощности имеет свои особенности.

В ходе исследований изучались технологии уборки лубяных культур различными энергетическими средствами в производственных условиях некоторых сельскохозяйственных организаций России [8], а также за рубежом [16].

**Результаты исследований.** Эффективная мощность двигателя самоходного уборочного агрегата расходуется на холостой ход энергосредства, самопередвижение, привод рабочих органов адаптера при агрегатировании, на выполнение технологического процесса, холостой ход рабочих органов и преодоление сопротивлений (сил трения) в трансмиссии, а также на буксование (деформацию почвы) движителей, преодоление уклонов, сил инерции и сопротивления воздушной среды. Схема распределения эффективной мощности двигателя представлена на рис. 1.

Мощностной баланс самоходного уборочного агрегата, отражающий распределение энергии двигателя энергосредства в агрегате с адаптером для лубяных культур на выполнение технологического процесса, можно выразить как сумму следующих составляющих [11]:

$$Ne_{\text{ном}}K_{\text{эз}} = Ne_{\text{пер.агр}}^p + Ne_{\text{ВОМ}}^{p \text{ max}}, \quad (1)$$

где  $Ne_{\text{ном}}$  номинальная эффективная мощность двигателя мобильного энергосредства, кВт;  $K_{\text{эз}}$  – коэффициент эксплуатационной загрузки двигателя мобильного энергосредства (резерви-

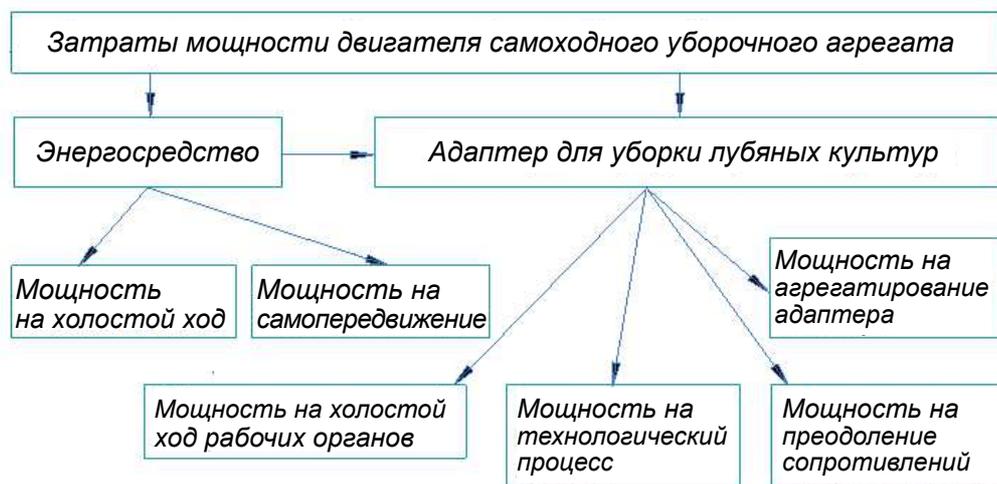


Рис. 1. Схема распределения эффективной мощности самоходного уборочного агрегата для лубяных культур

146

АГРАРНЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

рование части мощности на преодоление различных сопротивлений);  $Ne_{пер.агр}^p$  – часть эффективной мощности, расходуемая на передвижение агрегата, кВт;  $Ne_{ВОМ}^{p\ max}$  – часть эффективной мощности, передаваемая через ВОМ на привод адаптера для уборки лубяных культур, кВт.

Базовый режим работы самоходного уборочного агрегата – равномерное прямолинейное движение на любой из передач  $p$  мобильного энергосредства. Однако, учитывая особенности строения стеблей лубяных культур, имеющих прочную волокнистую структуру и древесную составляющую, неравномерность агрофона и ярусность посевов, возникает необходимость резервирования части эффективной мощности для преодоления пиковых сопротивлений. Кроме того, в результате влияния рельефа поля, неравномерности сопротивления передвижению и буксования ведущих колес, неравномерной нагрузки на ВОМ мобильного энергосредства от адаптера из-за различной густоты стеблестоя и диаметра стеблей, возникают колебания нагрузки на энергосредство.

Для этого определим составляющую мощностного баланса, передаваемую через ВОМ, на привод адаптера для уборки лубяных культур на передаче  $p$  энергосредства, путем преобразования выражения (1):

$$N_{ВОМ}^{p\ max} = \eta_{ВОМ} Ne_{ВОМ}^{p\ max} = \eta_{ВОМ} (K_{эз} Ne_{НОМ} - Ne_{пер.агр}^p), \quad (2)$$

где  $\eta_{ВОМ}$  – КПД трансмиссии мобильного энергосредства, учитывающий потери эффективной мощности двигателя при ее передаче на ВОМ.

Запишем уравнение для расчета мощности  $Ne_{пер.агр}^p$ , затрачиваемой на передвижение агрегата по полю:

$$Ne_{пер.агр}^p = N_{кр}^p + N_{пер.эн}^p, \quad (3)$$

где  $N_{кр}^p$  – мощность, расходуемая на агрегатирование адаптера, кВт;  $N_{пер.эн}^p$  – затраты мощности на передвижение мобильного энергосредства в агрегате с адаптером, кВт.

Составляющая мощности  $N_{кр}^p$  зависит от сопротивления передвижению навесного адаптера:

$$N_{кр}^p = N_{f.адт}^p, \quad (4)$$

где  $N_{f.адт}^p$  – затраты мощности на преодоление сопротивления передвижению адаптера, кВт.

Мощность  $N_{пер.эн}^p$  учитывает потери на преодоление сил сопротивления перемещению мобильного энергосредства в агрегате  $N_{f.эн}^p$ , кВт, пробуксовывание ведущих колес при движении по поверхности почвы  $N_{\delta.эн}^p$ , кВт и потери мощности в трансмиссии энергосредства при передаче крутящего момента на колеса  $N_{тр.эн}^p$ , кВт:



$$N_{\text{пер.эн}}^p = N_{f.\text{эн}}^p + N_{\delta.\text{эн}}^p + N_{\text{тр.эн}}^p \quad (5)$$

Составляющую мощности  $N_{f.\text{адт}}^p$  определим из выражения [11]:

$$N_{f.\text{адт}}^p = \frac{P_{f.\text{адт}} V_{\text{агр}}}{1000}, \quad (6)$$

где  $P_{f.\text{адт}}$  – сила сопротивления перемещению адаптера в агрегате, Н;  $V_{\text{агр}}$  – скорость движения уборочного агрегата (фактическая), км/ч.

При этом вышеуказанная сила сопротивления зависит от состояния агрофона и веса адаптера [11]:

$$P_{f.\text{адт}} = f R_{2\text{адт}}, \quad (7)$$

где  $f$  – коэффициент сопротивления передвиганию на рабочем агрофоне;  $R_{2\text{адт}}$  – реакция почвы на опорно-копирующее колесо адаптера, Н.

Работа самоходного уборочного агрегата для лубяных культур характеризуется силовым воздействием агрегируемого адаптера на энергосредство. Помимо отбора мощности через ВОМ, перераспределяется вес агрегата, приходящийся на его колеса, в результате чего изменяется сцепной вес ведущих колес мобильного энергосредства, а также составляющие энергобаланса.

При условии движения самоходного уборочного агрегата по ровной поверхности поля со скоростью  $V_{\text{агр}} < 18$  км/ч действие сил сопротивления подъему адаптера  $P_{i.\text{адт}}$  и мобильного энергосредства  $P_{i.\text{эн}}$ , сил сопротивления воздушному потоку  $P_{в.\text{адт}}$  и  $P_{в.\text{эн}}$ , сил инерции  $P_{j.\text{адт}}$  и  $P_{j.\text{эн}}$  незначительны, поэтому затратами мощности двигателя на их преодоление с некоторым приближением можно пренебречь [11]. Схема сил с действующими реакциями и моментами в самоходном уборочном агрегате представлена на рис. 2.

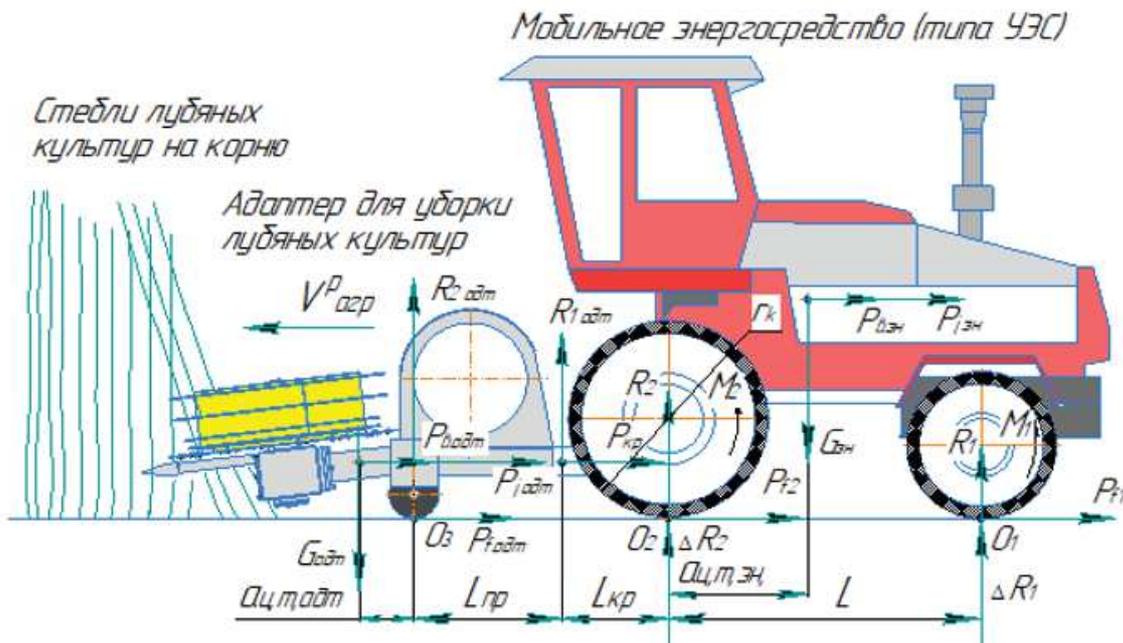


Рис. 2. Схема сил и моментов в общем случае движения самоходного уборочного агрегата

Реакцию почвы от адаптера  $R_{2\text{адт}}$  определим из следующего выражения:

$$R_{2\text{адт}} = G_{\text{адт}} - R_{1\text{адт}}, \quad (8)$$

где  $G_{\text{адт}}$  – вес адаптера, Н;  $R_{1\text{адт}}$  – реакция на навеске мобильного энергосредства от веса адаптера, Н.

При известном расположении центра тяжести адаптера реакции  $R_{1\text{адт}}$  и  $R_{2\text{адт}}$  определим как [11]:



$$\begin{cases} R_{1 \text{ адт}} = G_{\text{адт}} \cdot \frac{a_{\text{ц.т.адт}}}{l_{\text{пр}}} \\ R_{2 \text{ адт}} = G_{\text{адт}} \cdot \frac{l_{\text{пр}} - a_{\text{ц.т.адт}}}{l_{\text{пр}}} \end{cases} \quad (9)$$

где  $l_{\text{пр}}$  – продольная база адаптера, м;  $a_{\text{ц.т.адт}}$  – расстояние от вертикальной оси опорно-копирующего колеса адаптера до его центра тяжести, м.

Величина  $R_{\text{адт}}$  влияет на дозагрузку заднего моста мобильного энергосредства и разгрузку переднего, при этом будут изменяться и динамические показатели работы уборочного агрегата.

Рабочая скорость самоходного уборочного агрегата  $V_{\text{агр}}$  зависит от величины буксования  $\delta$  ведущих колес мобильного энергосредства на соответствующем агрофоне [11]:

$$V_{\text{агр}} = V_{\text{т}}^p (1 - \delta), \quad (10)$$

где  $V_{\text{т}}^p$  – теоретическая скорость движения уборочного агрегата на соответствующей передаче  $p$  мобильного энергосредства, км/ч.

Коэффициент буксования  $\delta$  ведущих колес мобильного энергосредства на соответствующем агрофоне можно определить из выражения [11]:

$$\delta = \frac{V_{\text{т}}^p - V_{\text{агр}}}{V_{\text{агр}}} = 1 - \frac{V_{\text{агр}}}{V_{\text{т}}^p} = 1 - \eta_{\delta}, \quad (11)$$

где  $\eta_{\delta}$  – КПД буксования мобильного энергосредства в агрегате с адаптером.

Определим теоретическую скорость  $V_{\text{т}}^p$  уборочного агрегата [11]:

$$V_{\text{т}}^p = 0,377 \frac{r_{\text{к}}}{u} \cdot n_{\text{дв}}, \quad (12)$$

где  $r_{\text{к}}$  – радиус ведущих колес мобильного энергосредства, м;  $u$  – передаточное отношение трансмиссии энергосредства на соответствующей передаче  $p$ ;  $n_{\text{дв}}$  – частота вращения коленчатого вала двигателя мобильного энергосредства, соответствующая значению эффективной мощности  $Ne_{\text{ном}}$ , мин<sup>-1</sup>.

Выразим составляющую мощности  $N_{f.\text{эн}}^p$  на передаче  $p$  [11]:

$$N_{f.\text{эн}}^p = \frac{P_{f.\text{эн}} V_{\text{агр}}}{1000}, \quad (13)$$

где  $P_{f.\text{эн}}$  – сила сопротивления передвижению мобильного энергосредства, Н.

Запишем уравнение для определения силы  $P_{f.\text{эн}}$ :

$$P_{f.\text{эн}} = (P_{f1} + P_{f2}) = f(R_2 + \Delta R_2) + f(R_1 + \Delta R_1), \quad (14)$$

где  $R_1$  и  $R_2$  – реакция почвы соответственно на передние и на задние колеса мобильного энергосредства от его веса  $H$ ;  $\Delta R_2$  – реакция почвы (догрузка) на ведущие колеса мобильного энергосредства, создаваемая величиной  $R_{\text{адт}}$  на его навеску от адаптера, Н;  $\Delta R_1$  – реакция почвы (разгрузка) на ведомые колеса мобильного энергосредства, создаваемая величиной  $R_{\text{адт}}$  от адаптера, Н.

Реакции почвы  $R_1$  и  $R_2$  можно определить как экспериментально, так и из следующих выражений, при известном расположении центра тяжести мобильного энергосредства [11]:

$$\begin{cases} R_1 = G_{\text{эн}} \frac{a_{\text{ц.т.эн}}}{L} \\ R_2 = G_{\text{эн}} \frac{L - a_{\text{ц.т.эн}}}{L} \end{cases} \quad (15)$$

где  $L$  – продольная база мобильного энергосредства, м;  $G_{\text{эн}}$  – вес мобильного энергосредства, Н;  $a_{\text{ц.т.эн}}$  – расстояние от вертикальной оси ведущих колес мобильного энергосредства до его центра тяжести, м.



Величины  $\Delta R_1$  и  $\Delta R_2$  определим из следующих выражений [11]:

$$\begin{cases} \Delta R_1 = R_{1 \text{ адт}} \frac{L_{\text{кр}}}{L} \\ \Delta R_2 = R_{1 \text{ адт}} \frac{L_{\text{кр}} + L'}{L} \end{cases} \quad (16)$$

где  $L_{\text{кр}}$  – расстояние от вертикальной оси ведущих колес мобильного энерго-средства до точки навески адаптера, м.

Определим составляющую мощности  $N_{\delta.эн}^p$  по следующей формуле [11]:

$$N_{\delta.эн}^p = N_{f.эн}^p \frac{\delta}{1-\delta}. \quad (17)$$

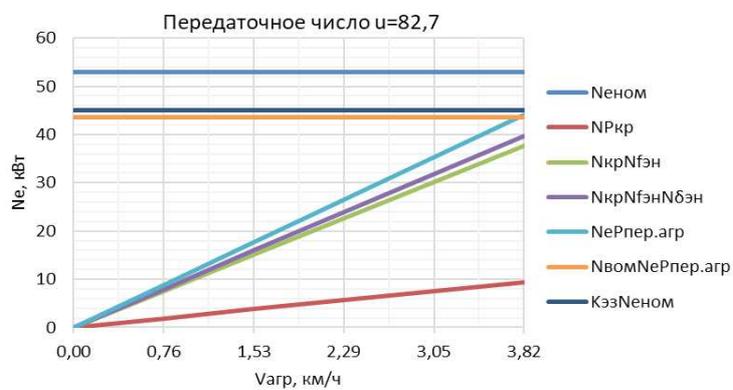
Потери мощности  $N_{тр.эн}^p$  в трансмиссии определим из выражения [11]:

$$N_{тр.эн}^p = (1 - \eta_{тр}^p) \frac{(N_{f.эн}^p + N_{\delta.эн}^p + N_{тр.эн}^p)}{\eta_{эн}^p}, \quad (18)$$

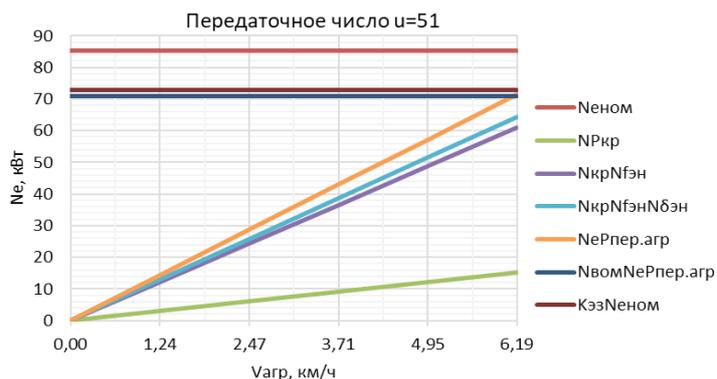
где  $\eta_{эн}^p$  – КПД механической трансмиссии на соответствующей передаче  $p$  мобильного энергосредства.

По полученным выражениям рассчитаем значения величин и построим графические зависимости, отражающие распределение составляющих мощностного баланса на первой, второй, третьей и четвертой передачах мобильного энергосредства, что позволит определить оптимальный диапазон режима работы самоходного уборочного агрегата с наибольшей производительностью и наименьшими энергетическими потерями, характеризуемыми КПД (рис. 3).

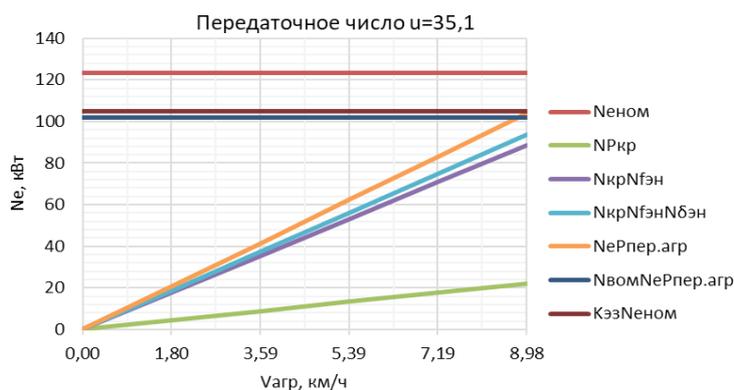
Анализируя полученные графики видно изменение составляющих мощностного баланса в динамике в зависимости от скорости движения агрегата  $V_{\text{агр}}$  и передаточного числа трансмиссии  $u$  на каждой из четырех передач. В режиме движения на первой и второй передаче затраты эффективной мощности двигателя энергосредства  $N_{еном}$  невысокие и находятся в пределах 53...85 кВт. При этом на небольшую величину (5,8 кВт) увеличивается мощность на агрегатирование адаптера  $N_{кр}^p$ , в то же время пропорционально скорости возрастает сопротивление передвижению агрегата  $N_{пер.агр}^p$  на 27 кВт. При переходе



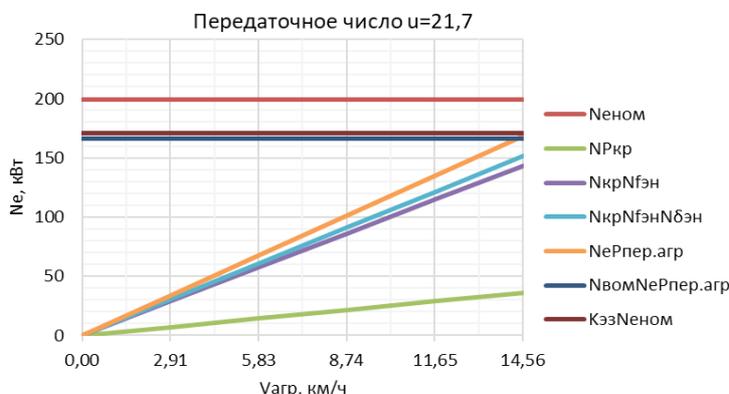
а



б



в



г

Рис. 3. Мощностной баланс самоходного уборочного агрегата: а – на 1-й передаче; б – на 2-й передаче; в – на 3-й передаче; г – на 4-й передаче





с третьей передачи на четвертую с ростом скорости происходит существенное увеличение затрат эффективной мощности  $N_{\text{enom}}$  (на 76 кВт), мощности на агрегатирование адаптера  $N_{\text{кр}}^p$  на 13 кВт и сопротивление передвижению агрегата  $Ne_{\text{пер.агр}}^p$  на 65 кВт. Но при этом, при движении на четвертой передаче и максимальной скорости, затраты эффективной мощности составляют 199 кВт, что соответствует номинальной мощности двигателя энергосредства.

**Заключение.** По результатам исследований получены аналитические выражения для расчета составляющих мощностного баланса самоходного уборочного агрегата. Построены графические зависимости распределения составляющих мощностного баланса  $N_{\text{enom}}$ , которые позволили определить затраты мощности для различного скоростного режима энергосредства и оптимальный диапазон работы уборочного агрегата с точки зрения энергоэффективности. Эти затраты могут увеличиваться в 1,5÷2,0 раза при переходе с одной передачи на другую. Полученные графические зависимости позволяют увидеть, насколько полно можно загружать двигатель мобильного энергосредства и использовать его возможности при организации работы в составе технологических комплексов. Расчеты показали, что загрузка двигателя (коэффициент эксплуатационной загрузки  $K_{\text{зз}}$ ) приближается к 1,0 (точное значение 0,95). Однако, это теоретические данные, требующие экспериментальной проверки.

Результаты исследований будут использованы в дальнейшей работе при расчете силовых и энергетических параметров, а также при проектировании технических средств для уборки лубяных и других сельскохозяйственных культур.

*Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках Государственных заданий: ФГБНУ ФНАЦ ВИМ № FGUN-2022-0007 и № FGUN-2022-0009, а также ФГБНУ ФНЦ ЛК № FGSS-2022-0005.*

**Вклад авторов.** М.Е. Чаплыгин – разработка концепции исследований, постановка цели, утверждение финальной версии статьи; Р.А. Попов – разработка схемы адаптера для уборки лубяных культур в агрегате с энергосредством, распределение составляющих мощностного баланса, подготовка начального текста статьи с последующей доработкой, С.Е. Сенькевич – теоретические расчеты, анализ и обработка результатов исследований, анализ, подбор и формирование литературных источников.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Давыдова С.А., Попов Р.А., Голубев И.Г. Техническое обеспечение возделывания и уборки безнаркотической конопли // Техника и оборудование для села. 2020. № 8(278). С. 12–17.
2. Давыдова С.А., Чаплыгин М.Е., Попов Р.А. Техническая оснащенность се-лекции и семеноводства при возделывании льна-долгунца и конопли посевной // Аграрный научный журнал. 2021. № 4. С. 72–78.
3. Емельянов А.М., Канделя М.В., Шпилёв Е.М., Решетник Е.И. Баланс мощности зерноуборочного комбайна «Енисей кзс-958» с треугольным гусеничным движителем // Вестник КрасГАУ. 2012. №. 11(74). С. 177–180.
4. Жилкибаев М.Ш. Обоснование параметров спецэнергосредства для агрегатирования уборочных машин: Автореф. дис... канд. техн. наук. Москва: ГНУ ВИМ Россельхозакадемии, 2005. 24 с.
5. Канделя М.В., Назарова В. П. Мощностной баланс зерноуборочного комбайна КЗС-3Г «Русь» // Вестник Приамурского государственного университета им. Шолом-Алейхема. 2018. №. 1(30). С. 18–20.
6. Новиков Э. В., Басова Н. В., Безбабченко А. В. Лубяные культуры в России и за рубежом: состояние, проблемы и перспективы их переработки // Технические культуры. Научный сельскохозяйственный журнал. 2021. №1(1). С. 30–40.
7. Попов Р.А. Инновационные разработки и современные технические средства для уборки конопли посевной. Таврический вестник аграрной науки. 2021. № 1(25). С. 150–163.
8. Попов Р.А., Бакулова И.В. Результаты полевых исследований уборки технической конопли по различным технологиям. Аграрный научный журнал. 2022. № 7. С. 108–112.
9. Ростовцев Р.А., Ущуповский И.В., Голубев И.Г., Мишуров Н.П. Машинно-технологическое обеспечение возделывания и переработки прядильных культур. ФГБНУ «Росинформагротех»: 2020. 153 с.
10. Серзин И.Ф., Арсеньев Г.М. Метод определения параметров кормоуборочных агрегатов с помощью теории подобия // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2009. №10. С.36–37.
11. Серзин И. Ф., Арсеньев Г. М. Энергетический баланс кормоуборочного агрегата // АгроЭкоИнженерия. 2010. №. 82. С. 24–37.
12. Сергеев Н. В., Сенькевич С.Е., Яровая М.В. Составляющие мощностного баланса колеса // Вестник ВИЭСХ. 2015. № 3(20). С. 99–104.

13. Таяновский Г. А., Калина А.А. К обоснованию колесного шасси комбайна для работы с оборудованием уборки свеклы // Наука и техника. 2016. №. 5. С. 397–406.

14. Транспортно-технологические средства на шинах сверхнизкого давления / В. И. Прядкин, В. Я. Шапиро, З. А. Годжаев, С. В. Гончаренко. Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2019. 492 с.

15. Щириков В. В. Некоторые особенности расчета производительности машинно-тракторных агрегатов при проектировании новых мобильных энергетических средств // Мелиорация и гидротехника. 2013. №. 4(12). С. 179–188.

16. Faugno S., Sannino M., Crimaldi M., Caracciolo G., Assirelli A. Hemp seed mechanical harvesting efficiency analysis. EUBCE 2018 - 26th European Biomass Conference & Exhibition, 14–17 May 2018, Copenhagen, Denmark. 2018. С. 374–377.

## REFERENCES

1. Davydova S.A., Popov R.A., Golubev I.G. Technical support for the cultivation and harvesting of drug-free hemp. *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2020;8(278):12–17. (In Russ.).

2. Davydova S.A., Chaplygin M.E., Popov R.A. Technical equipment of breeding and seed production in the cultivation of fiber flax and hemp seed. *Agricultural scientific journal*. 2021;4:72–78. (In Russ.).

3. Emelyanov A.M., Kandelya M.V., Shpilev E.M., Reshetnik E.I. Power balance of the Yenisei KZS-958 combine harvester with a triangular caterpillar drive. *Vestnik KrasGAU*. 2012;11(74):177–180. (In Russ.).

4. Zhilkibaev M.Sh. Substantiation of the parameters of special power equipment for aggregation of harvesters: Abstract of the thesis. dis... cand. tech. Sciences. Moscow: GNU VIM Russian Agricultural Academy. 2005:24. (In Russ.).

5. Kandelya M.V., Nazarova V.P. Power balance combine harvester KZS-3 «RUSSIA». *Sholom-Aleichem Priamursky State University*. 2018;1(30):18–20. (In Russ.).

6. Novikov E. V., Basova N. V., Bezbabchenko A. V. Bast crops in Russia and abroad: the state, problems and prospects of their processing. *Technical crops. Scientific agricultural journal*. 2021;1(1):30–40. (In Russ.).

7. Popov R. A. Innovative developments and modern technical means for seeded hemp harvesting. *Taurida Herald of the Agrarian Sciences*. 2021;1(25):150–163. (In Russ.).

8. Popov R.A., Bakulova I.V. The results of field studies of harvesting technical hemp by various technologies. *Agrarian scientific journal*. 2022;7:108–112. (In Russ.).

9. Rostovtsev R.A., Ushchapovsky I.V., Golubev I.G., Mishurov N.P. Machines, equipment and technologies for cultivation and processing of fiber crops. Scientific edition. Moscow: «Rosinformagrotekh». 2020:156. (In Russ.).

10. Serzin I.F., Arseniev G.M. Method for determining the parameters of forage harvesters using the theory of similarity. *Tractors and agricultural machines*. 2009;10:36–37. (In Russ.).

11. Serzin I. F., Arseniev G. M. Energy balance of the forage harvester. *AgroEcoEngineering*. 2010;82:24–37.

12. Sergeev N.V., Senkevich S.E., Yarovaya M.V. Components of the power balance of the wheel. *Vestnik VIESKh*. 2015; 3(20):99–104. (In Russ.).

13. Tayanovsky G.A., Kalina A.A. To Substantiation of Combine Wheeled Chassis for Beet Harvesting Equipment. *Science & Technique*. 2016;5:397–406. (In Russ.).

14. Pryadkin V. I., Shapiro V. Ya., Godzhaev Z. A., Goncharenko S. V. Transport and technological means on ultra-low pressure tires. Voronezh: *Voronezh State Forest Engineering University. G.F. Morozova*. 2019:492. (In Russ.).

15. Shchirov V.V. Calculating the performance of machine-tractor units at the design of new mobile power mean. *Melioration and hydraulic engineering*. 2013;4(12):179–188. (In Russ.).

16. Faugno S., Sannino M., Crimaldi M., Caracciolo G., Assirelli A. Hemp seed mechanical harvesting efficiency analysis. EUBCE 2018 - 26th European Biomass Conference & Exhibition, 14–17 May 2018, Copenhagen, Denmark. 2018:374–377.

*Статья поступила в редакцию 18.04.2023; одобрена после рецензирования 21.05.2023; принята к публикации 30.05.2023.*

*The article was submitted 18.04.2023; approved after reviewing 21.05.2023; accepted for publication 30.05.2023.*

