

УДК 630.181.351

DOI: 10.46960/62045\_2020\_3\_15

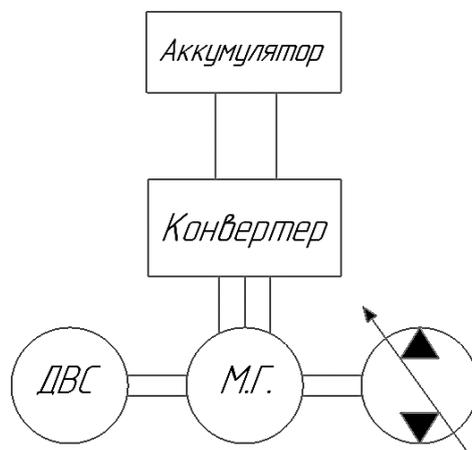
Д.И. Рогачев, А.Ф. Алябьев  
**РАСЧЕТ МОЩНОСТИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ  
ДЛЯ СИНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПРИВОДА ХАРВЕСТЕРА**

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

Изложен подход для расчета гибридной силовой установки харвестера, что связано с возможностью рассчитать экономичность коммерческой машины на этапе ее проектирования. Практическая реализация требований экономичности предполагает учет экономичных режимов двигателя и режимов работы машины. Их характеристики должны быть согласованы путем выбора оптимальных решений, а именно компоновки трансмиссии. Одним из решений может стать применение гибридного привода.

**Ключевые слова:** гибридный харвестер, гибридная лесная машина, гибридно-силовая установка, синергетический привод лесной машины.

Гибридный привод является одной из интенсивно развивающихся технологий повышения энергетической эффективности автомобильного транспорта и снижения расхода топлива, а, следовательно, и снижения вредоносных выбросов в атмосферу. Данный привод представляет собой систему (рис. 1), комбинирующую двигатель внутреннего сгорания с компонентами тягового электрического привода, агрегатами механической трансмиссии и буферным накопителем энергии (электрохимических конденсаторов или батарей аккумуляторов) [1-3].



**Рис. 1. Схема привода**

При расчете производительности харвестеров, используют формулы для сортиментной заготовки [4-6]. Цикловое время  $T_{ц}$  разбивают на составляющие соответственно типу машины и специфике ее работы. Для харвестера можно выделить следующий цикл работы:

- 1)  $t_1$  – время на подведение манипулятора к дереву (работает манипулятор);
- 2)  $t_2$  – время на зажим ствола дерева (работает харвестерная головка);
- 3)  $t_3$  – время на предварительное подтягивание вверх (работает манипулятор);
- 4)  $t_4$  – время на пиление ствола дерева (работает харвестерная головка);

- 5)  $t_5$  – время на гашение скорости падения при укладке хлыста на землю (работает манипулятор);

Раскряжевка зависит от количества сортимента с хлыста  $n_c$  и, в свою очередь, разделяется на два этапа:

- 6.1)  $t_{6.1}$  – время на протаскивание ствола (работает манипулятор и харвестерная головка);  
 6.2)  $t_{6.2}$  – время на пиление ствола (работает манипулятор и харвестерная головка);  
 7)  $t_7$  – время на разжим ствола (работает манипулятор);  
 8)  $t_8$  – время на возвращение манипулятора в исходное положение (работает манипулятор) [7,8].

Общее время цикла можно рассчитать как:

$$T_{\text{ц}} = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + n_c \cdot (t_{6.1} + t_{6.2}) + t_7 + t_8 \quad (1)$$

Время на точное наведение харвестерной головки на ствол дерева путем ее поворота вокруг вертикальной оси и подведение манипулятора к дереву определяется как:

$$t_1 = 1,53 \cdot q + 8,82, \text{ с} \quad (2)$$

где  $q$  – средний объем хлыста,  $\text{м}^3$ .

Затрачиваемая мощность на подведение манипулятора к дереву

$$N_1 = \frac{N_{\text{м}}}{\eta}, \text{ кВт} \quad (3)$$

где  $N_{\text{м}}$  – потребляемая мощность манипулятором;  $\eta$  – коэффициент полезного действия трансмиссии.

Время на зажим ствола дерева составляет в среднем  $t_2 = 1,5$  с.

Затрачиваемая мощность харвестерной головки при зажиме ствола дерева:

$$N_{\text{х.з.}} = \frac{P_{\text{х}} \cdot Q_{\text{х}}}{60}, \text{ кВт} \quad (4)$$

где  $P_{\text{х}}$  – рабочее давление харвестерной головки, МПа;  $Q_{\text{х}}$  – расход харвестерной головки, л/мин.

Общая потребляемая мощность при зажиме ствола:

$$N_2 = \frac{N_{\text{х.з.}}}{\eta} + \frac{N_{\text{м}}}{\eta}, \text{ кВт} \quad (5)$$

Время предварительного подтягивания ствола дерева вверх для обеспечения беззажимного пиления  $t_3 = 1,5$  с.

Затрачиваемая мощность на предварительное подтягивание вверх:

$$N_3 = \frac{N_{\text{м}}}{\eta}, \text{ кВт} \quad (6)$$

где  $N_{\text{м}}$  – потребляемая мощность манипулятором, кВт;  $\eta$  – коэффициент полезного действия передачи от двигателя к протаскивающему механизму.

Время на пиление ствола дерева определяется по формуле:

$$t_4 = \frac{\pi \cdot d_{\text{ср}}^2}{4 \cdot \Pi_{\text{ч}} \cdot \varphi}, \text{ с} \quad (7)$$

где  $d_{\text{ср}}$  – средний диаметр дерева, м;  $\Pi_{\text{ч}}$  – производительность чистого пиления цепной пилой харвестора,  $\text{м}^2/\text{с}$ ;  $\varphi$  – коэффициент, определяющий использование производительности чистого пиления.

Мощность, расходуемая на пиление ствола дерева – это сумма потребляемой мощности манипулятора  $N_{\text{м}}$  и харвестерной головки  $N_{\text{х}}$ . Потребляемая мощность харвестерной головки при пиении ствола:

$$N_{\text{х.п.}} = \frac{K \cdot \pi \cdot b \cdot d_{\text{ср}}^2}{4 \cdot t_{\text{п}}}, \text{ кВт}, \quad (8)$$

где  $K$  – удельная работа резания, Дж/м<sup>3</sup>;  $b$  – ширина пропила, м;  $d_{\text{ср}}$  – средний диаметр дерева, м;  $t_{\text{п}}$  – время на пиление ствола дерева, с.

Общая затрачиваемая мощность равна:

$$N_4 = \frac{N_{\text{м}}}{\eta} + \frac{N_{\text{х.п.}}}{\eta}, \text{ кВт}. \quad (9)$$

Время на гашение скорости падения при укладке хлыста на землю  $t_5 = 5$  с.

При гашении скорости падения и укладке хлыста на землю задействован только манипулятор:

$$N_5 = \frac{N_{\text{м}}}{\eta}, \text{ кВт}. \quad (10)$$

Время на протаскивание ствола дерева через сучкорезные ножи:

$$t_{6.1} = \frac{l_{\text{с}}}{V_{\text{пр}}} = \frac{6}{2} = 3 \text{ с}, \quad (11)$$

где  $l_{\text{с}}$  – длина сортимента, м;  $V_{\text{пр}}$  – скорость протаскивания дерева вальцами через сучкорезные ножи, м/с.

Мощность, расходуемая на резание сучков и преодоление сопротивлений при протаскивании ствола, определяется по среднему усилию:

$$N_{6.1 \text{ х.р.}} = \frac{P_{\text{пр.}} \cdot V_{\text{пр}}}{\eta}, \text{ кВт}, \quad (12)$$

где  $P_{\text{пр.}}$  – усилие протяжки харвестерной головки, кН;  $V_{\text{пр}}$  – скорость протаскивания дерева вальцами через сучкорезные ножи, м/с.

Мощность, расходуемая манипулятором:  $N_{6.1 \text{ м}} = \frac{N_{\text{м}}}{\eta}$ , кВт.

Общая затрачиваемая мощность:

$$N_{6.1} = N_{6.1 \text{ х.р.}} + N_{6.1 \text{ м}}, \text{ кВт}.$$

Время на раскряжевку хлыста на сортименты и времена на сброс сортиментов на землю:

$$t_{6.2} = \frac{\pi \cdot d_{\text{ср}}^2}{4 \cdot \Pi_{\text{ч}} \cdot \varphi}, \text{ с}$$

Затрачиваемая мощность при пилении ствола

а) харвестерной головкой:

$$N_{6.2 \text{ х.п.}} = \frac{K \cdot \pi \cdot b \cdot d_{\text{ср}}^2}{4 \cdot t_{6.2} \cdot \eta}, \text{ кВт},$$

б) манипулятором:

$$N_{6.2 \text{ м}} = \frac{N_{\text{м}}}{\eta}, \text{ кВт}.$$

Общая мощность:  $N_{6.2} = N_{6.2 \text{ х.п.}} + N_{6.2 \text{ м}}$ , кВт.

Время на разжим ствола дерева составляет в среднем  $t_7 = 1,5$  с.

Мощность, затрачиваемая манипулятором:  $N_7 = \frac{N_{\text{м}}}{\eta}$ , кВт.

Время  $t_8 = 8$  с – время на возвращение манипулятора в исходное положение.

Мощность, затрачиваемая манипулятором:  $N_8 = \frac{N_{\text{м}}}{\eta}$ , кВт.

По итогу расчета для удобства можно построить график потребляемой мощности (рис. 2) и на нем линией отметить мощность ДВС при минимальном удельном эффективном расходе топлива. Эта линия покажет при каких операциях эффективно использовать ДВС совместно с тяговым электродвигателем, а при каких будет происходить зарядка аккумулятора [9,10].

Мощность электродвигателя можно определить как

$$N_{\text{ЭД}} = k \cdot (N_{\text{max}} - N_{\text{ДВС}}), \text{ кВт}, \quad (13)$$

где  $k$  – коэффициент запаса мощности ЭД;  $N_{\text{max}}$  – максимальная потребляемая мощность, кВт;  $N_{\text{ДВС}}$  – эффективная мощность ДВС.

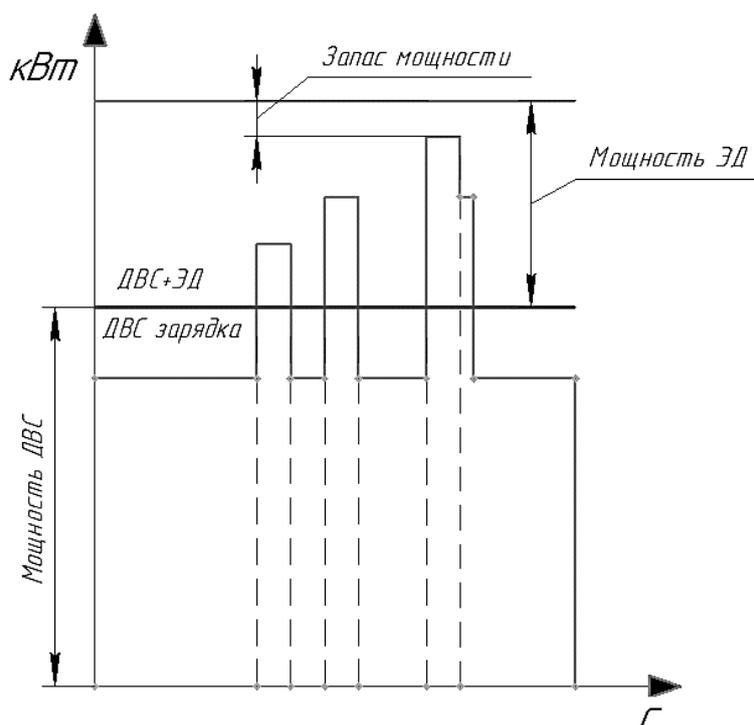


Рис. 2. График потребляемой мощности

### Заключение

В качестве источника питания оптимально применить суперконденсатор. Основные достоинства суперконденсатора:

- низкая стоимость устройства накопления энергии в расчете на 1 фарад;
- высокий КПД цикла, который достигает 95 % и выше;
- длительный срок службы; экологическая безопасность;
- широкий диапазон рабочих температур; большое количество циклов практически с неизменными параметрами;
- высокая скорость заряда и разряда; допустимость разряда до нуля.

В качестве инвертера возможно использование ЕС-C1200 фирмы Danfoss или аналоги.

### Библиографический список

1. Козлов, И.В. Тенденции развития отечественной лесовосстановительной техники [Текст] / И.В. Козлов, Д.И. Рогачев // Матрица научного познания. 2019. №12. С. 36-40.

2. Рогачев, Д.И. Развитие отечественной робототехники в лесной отрасли [Текст] / Д.И. Рогачев, И.В. Козлов // Студенческий вестник. 2020. № 1-6(99). С. 22-23.
3. Прохоров, В.Ю. Экологические аспекты эксплуатации автомобильного транспорта [Текст] / В.Ю. Прохоров, Д.В. Акинин, Н.В. Гренц, М.С. Усачев. – Москва: Московский государственный университет леса (Мытищи), 2014. – 63 с.
4. Клубничкин, В.Е. Краткий анализ тенденций развития лесозаготовительных машин [Текст] / В.Е. Клубничкин, Е.Е. Клубничкин, А.В. Карташов // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2020. № 3. С. 93-102.
5. Сортиментная заготовка древесины: учеб. пособие [Текст] / сост. В.В. Шелепов. – Кострома: Костромской государственный технологический университет. 2010. – 53 с.
6. Акинин, Д.В. Методика проектирования близкой к оптимальной структуры парка лесных машин [Текст] / Д.В. Акинин, Г.О. Комаров, В.Ю. Прохоров // Труды международного симпозиума надежность и качество. 2014. Т. 2. С. 178-179.
7. Klubnichkin, V.E. Research of kinematics and dynamics of tracked timber harvesting vehicle running gear [Текст] / V.E. Klubnichkin, E.E. Klubnichkin // Forest engineering making a positive contribution. 2015. С. 315-320
8. Клубничкин, В.Е. Программа и методика проведения экспериментальных исследований погрузочно-транспортной машины в прикладном пакете программ [Текст] / В.Е. Клубничкин, Е.Е. Клубничкин, Д.В. Кондратюк // Лесотехнический журнал. 2017. Т. 7. № 4. С. 175-182.
9. Клубничкин, В.Е. Оценка эффективности проектно-конструкторских действий [Текст] / В.Е. Клубничкин, Е.Е. Клубничкин, О.И. Морозова, А.С. Клубничкина // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2014. Т. 2. № 5-3(10-3). С. 358-363.
10. Борисов, В.А. К вопросу определения экономической эффективности инвестиций в лесотранспорт [Текст] / В.А. Борисов, Д.В. Акинин, В.В. Кирей, И.Е. Илюхин, О.И. Морозова // Наука сегодня: проблемы и пути решения. 2018. С. 6-9.