

METHOD OF DEFINITION OF OPTIMUM PARAMETERS OF A TRACTOR FOR COMPLEX OF TECHNOLOGICAL OPERATIONS IN AGRICULTURE

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ТРАКТОРА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ КОМПЛЕКСА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Prof. Dr. Eng. Khafizov K.A.
Kazan State Agrarian University, Kazan, Tatarstan, Russia

Annotation: This article offers the new procedure of a general-purpose tractor mass and power calculation which is oriented on performance of certain kinds technological operations (sowing, plowing). Optimality criteria are total energy expenses considering yield energy which was lost because of wrong chosen tractor parameters. By multiple parameter optimization of a tractor parameters and the unit it is found out that there are optimum values of a tractor weight and power during the sowing and plowing, which do not coincide on size and remain stable at considerable change of environmental factors (properties of soil, parameters of field). Weight and power of a multi-purpose tractor providing the minimum total energy expenses during the complex of operations were indicated.

Keywords: tractor parameters; weight; capacity; optimization; mathematical model of the unit; total power expenses; energy of the lost crop.

1. Введение

Основными параметрами трактора, которые закладываются при его проектировании, являются масса трактора и мощность двигателя. В тракторостроении Российской Федерации эти параметры выбираются исходя из типажа тракторов. Типаж тракторов включает в себя 10 классов, а показателем класса является номинальное тяговое усилие, развиваемое трактором. Изменение массы трактора приводит к его переходу на другой тяговый класс, поэтому масса трактора внутри класса имеет ограниченные пределы изменения. При конструировании трактора выбирают класс трактора по его тяге, затем массу в пределах этого класса. Мощность двигателя подбирается исходя из требования по обеспечению необходимых скоростей перемещения на рабочих режимах.

В связи с тем, что на одной и той же технологической операции используются трактора различных тяговых классов, возникает вопрос - Какие трактора эффективнее на тех или иных операциях и на комплексе операций? Для решения проблемы необходимо ориентироваться на объективный, комплексный критерий оптимизации – суммарные энергетические затраты.

На энергетическую эффективность трактора основное влияние оказывают мощность его двигателя, определяющая производительность машинно-тракторного агрегата, а значит и сроки выполнения операции и масса трактора, определяющая его тяговые возможности и в то же время давление движителей на почву, что связано с потерями урожая, а значит с величиной суммарных энергетических затрат [1].

2. Теоретические предпосылки решения рассматриваемой проблемы

Величина суммарных энергетических затрат в общем виде записывается в следующей форме:

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_{и.тр} + \mathcal{E}_{и.схм} + \mathcal{E}_{и.пр} + \mathcal{E}_{рто} + \mathcal{E}_{с.р} + \mathcal{E}_{упр} + \mathcal{E}_{тсм} + \mathcal{E}_{пот} \rightarrow \min, (1)$$

где \mathcal{E} – удельные суммарные энергетические затраты, МДж/га; $\mathcal{E}_{и}$ - энергия, затраченная на изготовление трактора, орудия, прицепа, приходящаяся на 1 га, МДж/га; $\mathcal{E}_{рто}$ - энергия, затраченная на капитальный, текущий ремонт и техническое обслуживание трактора, прицепа и орудия, МДж/га; $\mathcal{E}_{с.р}$ - энергия, затраченная на сборку и разборку агрегата, МДж/га; $\mathcal{E}_{упр}$ - энергия, затраченная на управление трактором (переключение передач, повороты, остановку и трогание с места), МДж/га; $\mathcal{E}_{тсм}$ - энергия, затраченная на выполнение агрегатом работы посредством сжигания топлива, МДж/га; $\mathcal{E}_{пот}$ - энергия урожая, потерянного из-за не оптимально выбранных параметров и режимов работы трактора и агрегата, МДж/га.

Из анализа суммарных энергетических затрат выявлено, что масса трактора неоднозначно влияет на величину составляющих суммарных энергетических затрат. При росте массы трактора одни составляющие суммарных энергетических затрат увеличиваются ($\mathcal{E}_{и.тр}$, $\mathcal{E}_{рто}$, $\mathcal{E}_{с.р}$), а другие снижаются ($\mathcal{E}_{упр}$, $\mathcal{E}_{тсм}$, $\mathcal{E}_{пот}$).

Оказалось, что мощность двигателя трактора также неоднозначно влияет на величину составляющих суммарных энергетических затрат. При росте мощности двигателя одни составляющие суммарных энергетических затрат могут как увеличиваться ($\mathcal{E}_{и.тр}$, $\mathcal{E}_{рто}$, $\mathcal{E}_{тсм}$, $\mathcal{E}_{с.р}$), так и уменьшаться ($\mathcal{E}_{упр}$, $\mathcal{E}_{пот}$). Возможно, что для определенных условий работы (вида технологической операции, размера полей, объема годовой работы и т.д.) имеются оптимальные значения массы и мощности двигателя трактора, которые обеспечат минимальные суммарные энергетические затраты. Для их выявления проведем вычислительные эксперименты с использованием разработанной энергетической математической модели машинно-тракторного агрегата на различных операциях.

3. Результаты вычислительных экспериментов

Для выявления оптимальных значений массы и мощности двигателя была проведена многопараметрическая оптимизация параметров **посевных** агрегатов. При выявлении оптимальной массы и мощности трактора были организованы многоцикловые расчеты в СКМ Matlab с использованием энергетической математической модели агрегатов при одновременном изменении веса трактора, мощности его двигателя, ширины захвата агрегата, скорости агрегата. В ходе многопараметрических оптимизационных расчетов выявлялось влияние на массу и мощность трактора ряда факторов внешней среды – годового объема работы агрегата, удельного сопротивления почвы рабочим органам сельскохозяйственных машин, давления в шинах колес трактора и числа колес на одном борту.

Некоторые результаты расчета параметров посевного агрегата приведены на рисунках 1, 2, 3, 4.

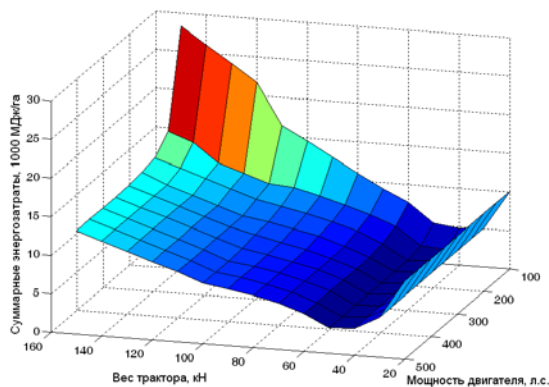


Рисунок 1 – Изменение суммарных энергетических затрат при изменении мощности двигателя и веса трактора

Из рисунка 1 видно, что имеется оптимальное соотношение мощности двигателя и веса трактора (расчеты проведены для наиболее распространенных условий работы посевного агрегата для прямого посева). Из предварительных исследований агрегатов с использованием системной энергетической математической модели машинно-тракторных агрегатов известно, что на величину суммарных энергетических затрат сильное влияние оказывают факторы – годовой объем работы, удельное сопротивление почвы, максимальная величина допустимой по агротехническим требованиям скорости, давление в шинах колес и их число на одном борту.

Выясним, как изменение этих факторов влияет на величину оптимальной массы и мощности двигателя трактора, насколько эти параметры являются стабильными. Из рисунка 2 видно, что на посеве по мере увеличения годового объема работы агрегата оптимальные масса трактора и мощность его двигателя сохраняются постоянными, а удельные суммарные энергозатраты возрастают.

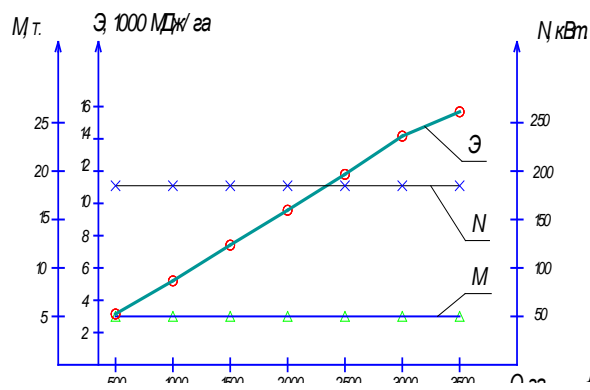


Рисунок 2 – Зависимость мощности двигателя, массы трактора и суммарных энергетических затрат от годового объема работы на посеве

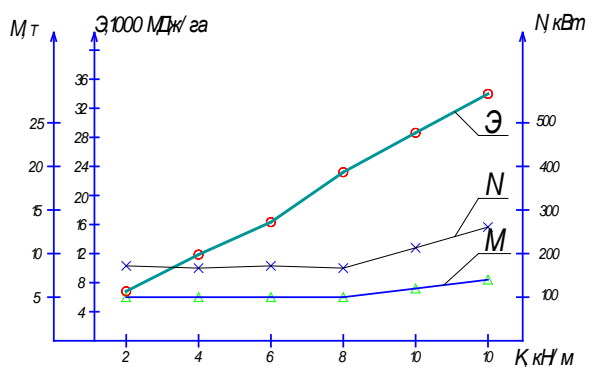


Рисунок 3 – Зависимость мощности двигателя, массы трактора и суммарных энергетических затрат от удельного сопротивления почвы на посеве

Оптимальное значение массы трактора с ростом удельного сопротивления почвы до величины 8 кН/м остается постоянным (см. рисунок 3), затем возрастает до 6000-7000 кг, при этом увеличивается потребная мощность двигателя. Суммарные энергетические затраты с увеличением сопротивления почвы возрастают.

Сопротивление почвы рабочим органам современных посевных комплексов не превышает 8 кН/м, поэтому максимальная масса трактора для посева должна быть 5000 кг при условии, что посевной комплекс работает на скорости 15 км/ч.

Данные, приведенные на рисунке 4, свидетельствуют о том, что масса трактора 5000 кг, является оптимальной на скоростях посева выше 14 км/ч.

В связи с тем, что рекомендуемая скорость современных посевных комплексов колеблется в пределах от 8 до 12 км/ч, то оптимальной массой трактора для посевных работ и работ по подготовке почвы к посеву дисковыми орудиями или культиваторами является 9000-12000 кг. Оптимальное значение мощности из расчетов колеблется в пределах 200-240 кВт.

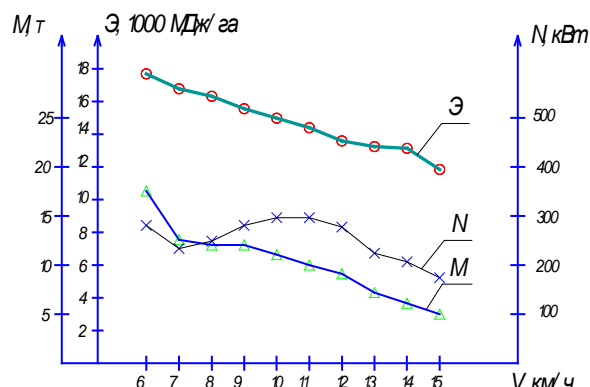


Рисунок 4 – Зависимость мощности двигателя, веса трактора и суммарных энергетических затрат от максимально допустимой скорости сеялки

На рисунке 5 показано изменение массы трактора, мощности двигателя и суммарных энергетических затрат при изменении давления в шинах трактора. Из рисунка видно, что на посеве, при увеличении давления в шинах, суммарные энергетические затраты увеличиваются, а оптимальная мощность двигателя и масса трактора уменьшаются.

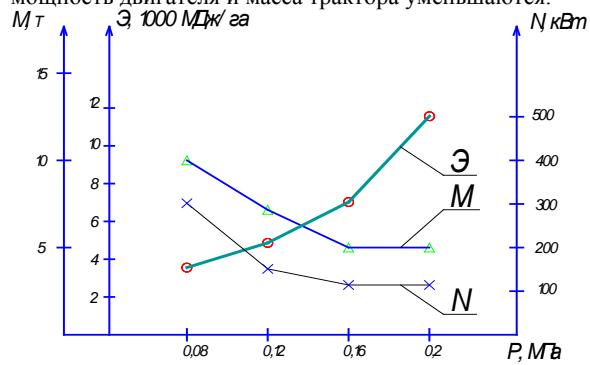


Рисунок 5 – Зависимость мощности двигателя, массы трактора и суммарных энергетических затрат от давления в шинах при посеве

Из проведенного анализа видно, что на посеве на оптимальные значения массы трактора и мощности его двигателя наибольшее влияние оказывает скорость агрегата. В связи с тем, что рекомендуемая скорость современных посевных комплексов колеблется в

пределах от 8 до 12 км/ч, то оптимальной массой трактора для посевных работ и работ по подготовке почвы к посеву культиваторами является 9000-12000 кг. Оптимальное значение мощности из расчетов колеблется в пределах 200-240 кВт.

Проведем такие же исследования для пахотных агрегатов. На рисунке 6 показан 3D график зависимость суммарных энергетических затрат от массы пахотного трактора и мощности его двигателя. Из рисунка 6 видно, что для определенных условий работы пахотного агрегата имеется оптимальное соотношение мощности двигателя и веса трактора.

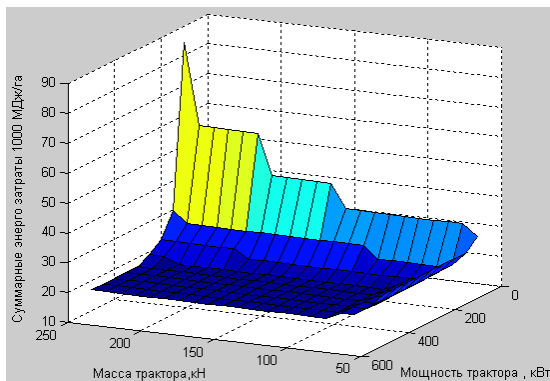


Рисунок 6 – Изменение суммарных энергетических затрат при изменении мощности двигателя и веса трактора

На рисунке 7 показана зависимость веса трактора, мощности его двигателя и суммарных энергетических затрат на вспашке от годового объема работы.

Из рисунка видно, что с увеличением годового объема работы вес и мощность трактора остаются постоянными, а суммарные энергетические затраты растут. Такие результаты получены при условии, что агрегат работает на максимальной скорости до 8 км/ч.

С ростом удельного сопротивления почвы (см. рисунок 8) вес трактора и мощность двигателя в пределах выбранных значений удельного сопротивления почвы сначала возрастают, а затем стабилизируются при весе 240 кН и мощности двигателя 370 кВт.

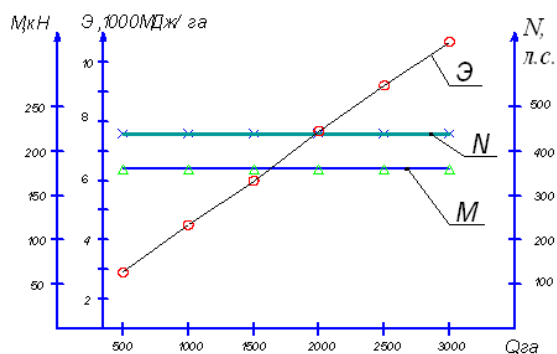


Рисунок 7 - Зависимость мощности двигателя, веса трактора и суммарных энергетических затрат от годового объема работы на вспашке

Суммарные энергетические затраты трактора при росте удельного сопротивления почвы вспашке повышаются.

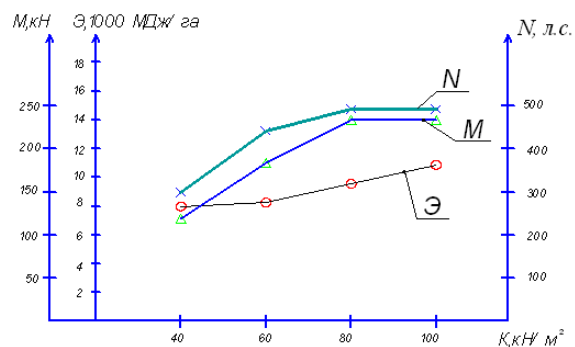


Рисунок 8 - Зависимость мощности двигателя, вес трактора и суммарных энергетических затрат от удельного сопротивления почвы на вспашке

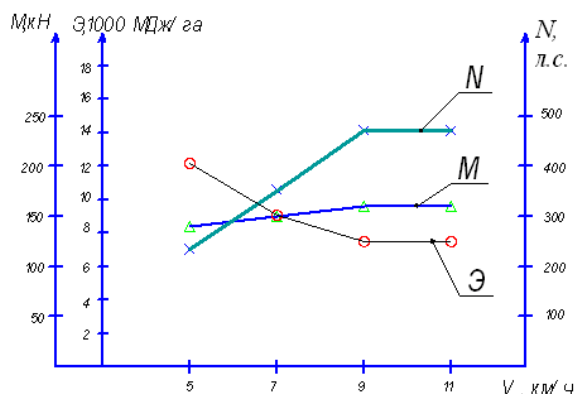


Рисунок 9 – Зависимость мощности двигателя, веса трактора и суммарных энергетических затрат от максимально допустимой скорости агрегата на вспашке

На рисунке 9 приведены расчеты с ограничением максимальной скорости агрегата в пределах от 5 до 11 км/ч. Из графика видно, что оптимальные мощность двигателя и вес трактора растут при увеличении максимально допустимой скорости сельскохозяйственной машины. При этом суммарные энергетические затраты снижаются.

Таким образом, из приведенных расчетов по определению оптимальных веса трактора и мощности его двигателя можно сделать вывод о том, что для наиболее распространенных условий вспашки (объем работы 500-1000 га, сопротивление почвы 60-80 кН/м², допустимая максимальная скорость агрегата 7-12 км/ч) вес трактора равен 180-230 кН, а мощность двигателя 330-370 кВт.

В связи с тем, что оптимальные масса и мощность двигателя посевных и пахотных тракторов не совпадают, была проведена оптимизация этих параметров при использовании одного и того же трактора и на посеве, и на вспашке для типичных условий работы посевных и пахотных агрегатов (объем работы 1000га, удельное сопротивление: на вспашке 60кН/м²; посеве 4кН/м, работа организована в две смены по 10 часов, максимально допустимая скорость посевного и пахотного агрегата 10 км/ч). Причем с одними и теми же параметрами трактор выполнял как посев, так и вспашку и велся поиск таких значений массы и мощности трактора, когда сумма энергозатрат на двух операциях была минимальна. График зависимости энергетических затрат от веса и мощности трактора, полученный в ходе расчетов приведен на рисунке 10.

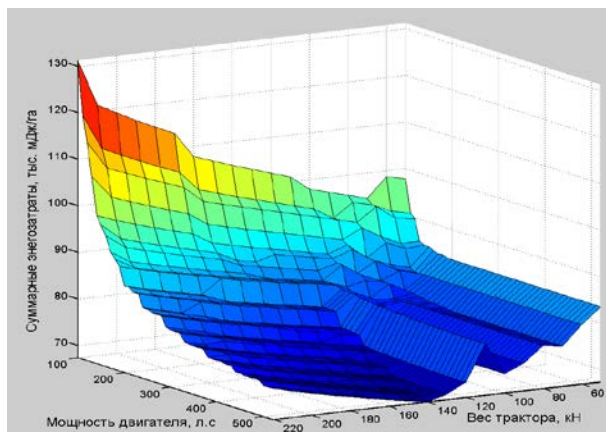


Рисунок 10 – Изменение суммарных энергетических затрат при изменении мощности двигателя и веса трактора используемого и для посева и для вспашки

Оптимальные значения параметров посевного и пахотного агрегата и трактора, полученные в ходе расчетов:

Оптимальная ширина захвата посевного агрегата

$$B_{opt} = 12,0 \text{ м};$$

Оптимальная ширина захвата пахотного агрегата

$$B_{pv} = 4,9 \text{ м};$$

Оптимальная рабочая скорость обоих агрегатов

$$V_{opt} = 10 \text{ км/ч};$$

Оптимальный вес трактора $M_{opt} = 150 \text{ кН};$

Потребная мощность двигателя $N_{opt} = 300 \text{ кВт};$

Буксование трактора на посевах $\sigma = 11,2 \text{ %};$

Буксование трактора на вспашке $\sigma_{av} = 13,9 \text{ %};$

Сумма энергозатрат на двух операциях

$$E_{min} = 46870 \text{ МДж/га.}$$

Таким образом, если проектируемый универсальный трактор будет использоваться как на посевах, так и на вспашке, то его оптимальная масса равна 15,3 т., а мощность двигателя 300 кВт. Энергонасыщенность трактора 19,6 кВт/т.

Из тракторов, выпускаемых в Российской Федерации, наиболее близко по параметрам подходят тракторы К-744РЗ.

Модель трактора	Марка двигателя	кВт	Масса эксплуатационная, кг
К-744РЗ	ТМЗ-8481.10-02	287	13500-15000
К-744РЗ-1	ТМЗ-8481.10-04	310	13500-15000
К-44РЗМ	ОМ 457 LA/E2/3	295	13500-15000
К-744РЗМ-1	ОМ 457 LA/E2/2	315	13500-15000

4. Заключение

В результате вычислительных экспериментов по выявлению оптимальной мощности двигателя и массы трактора на различных технологических операциях выявлено:

– на посевах в связи с тем, что рекомендуемая скорость современных посевных комплексов колеблется в пределах от 8 до 12 км/ч, оптимальной массой трактора является 8000 кг, с возможностью догрузки до 12000 кг. Оптимальное значение мощности из расчетов колеблется в пределах 200-240 кВт;

– для выполнения пахотных работ оптимальная масса трактора равна 18000 кг с догрузкой, при необходимости до 23000 кг. Оптимальная мощность его двигателя равна 330-370 кВт. Если в производственном процессе отсутствует вспашка, то использование таких тракторов приводит к большим энергетическим затратам через потери урожая от уплотнения почвы колесами тракторов;

– если проектируемый универсальный трактор будет использоваться как на посевах, так и на вспашке, то его оптимальная масса равна 15300 кг., а мощность двигателя 300 кВт. Энергонасыщенность трактора будет находиться в пределах 19,6 кВт/т.

5. Литература

1. Хафизов, К.А. Пути снижения энергетических затрат на производственных процессах в сельском хозяйстве. – Казань: Изд-во Казанского ун-та, 2007. – 272 с.