**Тяговый расчет трактора**

Тяговые показатели трактора и эффективность его использования в сельскохозяйственном производстве в соответствии с назначением и условиями эксплуатации зависят от правильного выбора основных параметров: веса (массы), мощности и типа регуляторной характеристики двигателя, передаточных чисел трансмиссии. При выполнении тягового расчета трактора производятся: расчет основных параметров трактора; расчет и построение регуляторной характеристики двигателя, потенциальной и теоретической тяговых характеристик трактора; анализ его основных эксплуатационных свойств. Все расчеты проводятся в Международной системе единиц измерения физических величин.

Теория тракторов и автомобилей - это наука, представляющая собой систему основных знаний, обобщающих и отражающих объективные закономерности изучения эксплуатационных качеств и свойств трактора и автомобиля; о методах их изучения и определения, а так же о способах влияния и совершенствования этих качеств и свойств. В связи с быстрым ростом уровня механизации сельскохозяйственного производства и расширения сферы применения автотранспорта, требования, предъявляемые к эксплуатационным качествам тракторов и автомобилей непрерывно развивается и дифференцируются в зависимости от назначения машины и условий ее использования. Чтобы иметь возможность оценивать влияние отдельных эксплуатационных качеств на общую эффективность машины, нужно установить объективные, научно обоснованные измерители этих качеств и методику их определения.

**1. Исходные данные**

К основным исходным данным на проектируемый трактор относятся:

1. *Тип (прототип) трактора* - ДТ-75М, гусеничный.

2. *Тяговый класс и номинальное тяговое усилие*, к тяговому классу 3 относится трактор ДТ-75М, номинальное тяговое усилие у которого равно Рн = 3 тс ≅ 30 кН, выраженной в тоннах силы (1 тс = 1\*g кН ≅ 9,81 кН ≅ 10 кН, где g - ускорение свободного падения).

**Номинальное тяговое усилие** трактора - это такое максимальное тяговое усилие, при котором движущийся по стерне зерновых культур (при нормальной плотности и влажности почвы) трактор имеет наибольший или близкий к нему тяговый к.п.д. при условии, что потери на буксование движителя δ (коэффициент буксования) не превышают допустимых по агротехническим требованиям пределов δн.доп (тракторы: гусеничные – 3...5 %;). Номинальное тяговое усилие Рн является правой границей рабочего интервала тяговых усилий трактора.

3. *Номинальная скорость движения* Vн =8,0 км/ч. Это скорость движения трактора, соответствующая номинальному тяговому усилию Рн.

4. *Число основных*, рабочих *передач* - z=4.

5. *Число транспортных* *передач* - м=2.

6. *Агрофон поля*: стерня зерновых, средне-суглинистый чернозем.

7. *Максимальная транспортная скорость* движения трактора

Vмакс=17,5 км/ч.

8. *Номинальная частота вращения* вала двигателя nн=1780 об/мин.

9. *Номинальный удельный расход топлива* двигателем gен=245г/кВт\*ч.

**2. Вес и номинальная мощность двигателя**

*Конструктивный (сухой) вес* Gо - вес трактора в не заправленном состоянии, без тракториста, инструмента, дополнительного оборудования и балласта.

*Минимальный эксплуатационный вес* Gмин, равный конструктивному весу плюс вес заправочных материалов, инструментов и тракториста. Минимальный эксплуатационный вес Gмин в среднем на 7...11 % больше конструктивного Gо:

Gмин≈ (1,07...1,11)Gо. (1)

*Максимальный эксплуатационный вес* Gмакс, равный минимальному эксплуатационному весу плюс вес балласта Gб:

Gмакс = Gмин+ Gб. (2)

Балласт применяется для увеличения сцепного веса (нагрузки на ведущие колеса, движитель) Gсц тракторов с целью повышения их тягово-сцепных свойств (уменьшения коэффициента буксования δ и увеличения силы сцепления Рϕ). При установке балласта на ведущих колесах его вес можно определить по формуле:

Gб = λк(Gмакс - Gмин), (3)

где λк - коэффициент нагрузки ведущих колес:

λк = Gсц/G;

G - эксплуатационный вес трактора - общее обозначение.

*Конструктивный вес* трактора Gо надо стремиться снижать до минимума с учетом технических возможностей и экономической целесообразности. С уменьшением конструктивного веса снижается металлоемкость, затраты мощности на передвижение трактора, особенно на транспортных работах. Однако с уменьшением конструктивного веса возрастает стоимость трактора в связи с применением более прочных материалов и совершенных технологий. Более или менее точно конструктивный вес может быть определен только при реальном проектировании. При выполнении курсовой работы величину его следует принимать, ориентируясь на тракторы того же класса и уровень их энергонасыщенности.

**Расчетный максимальный эксплуатационный вес** Gмакс.р трактора определяют исходя их того, чтобы при работе на стерне зерновых культур при нормальной влажности и плотности почвы с номинальной нагрузкой на крюке Рн он обеспечивал не превышение допустимого уровня буксования движителей δдоп. Для аппроксимации зависимости коэффициента буксования трактора от развиваемого им тягового усилия можно использовать следующую, полученную на основании обработки большого количества опытных данных, зависимость:

δ= ln[A/(ϕm - ϕкр)]/B, (4)

где ϕm, А, Β - коэффициенты, полученные при математической обработке опытных данных - таблица 1;

ϕкр - коэффициент использования сцепного веса трактора:

ϕкр = Ркр/Gсц. (5)

Таблица 1. Коэффициенты: сопротивления качению тракторов и функции аппроксимации кривой буксования δ= ln[A/(ϕm - ϕкр)]/B

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Тип  трактора | Агрофон, механический состав почвы | f\*10-2 | Коэффициенты | | |
| А | В | ϕm |
| ***Гусеничный*** | Стерня, тяжелый суглинок | 6…8 | 0,80 | 73,0 | 0,75 |
| ***Стерня, средний суглинок*** | ***6…8*** | ***0,75*** | ***47,6*** | ***0,67*** |
| ППП, суглинок | 9…12 | 0,68 | 30,3 | 0,62 |
| *Пояснения*: тип почвы - чернозем; ППП – поле, подготовленное под посев; \*) – тракторы с неодинаковыми задними и передними колесами; \*\*) – тракторы с одинаковыми колесами (пахотные) | | | | | |

Решение выражения (4) относительно ϕкр позволяет задавшись допустимой величиной коэффициента буксования δдоп определить соответствующее ему значение коэффициента использования сцепного веса ϕкр.н трактора:

ϕкр.н = ϕm - Аехр(- Βδдоп). (6)

ϕкр.н = 0,67 - 0,75ехр(- 47,6·0,05)=0,6.

По полученному значению ϕкр.н и известному значению номинального тягового усилия трактора Pн в соответствии с (5) можно определить требуемое значение сцепного веса трактора Gсц и его расчетный максимальный эксплуатационный вес Gмакс.р.

Для *колесных с колесной формулой* 4К4 и *гусеничных тракторов* сцепной вес равен эксплуатационному весу Gсц = G, поэтому получим:

Gмакс.р = Рн/ϕкр.н=30/0,6=50кН. (7)

Если эксплуатационный вес трактора G будет меньше, чем расчетный максимальный эксплуатационный вес Gмакс.р, то буксование при номинальном тяговом усилии будет превышать допустимый уровень δдоп.

После определения Gмакс.р следует оценить значение конструктивного веса трактора Gо\*:

Gо\*≈ Gмакс.р/(1,07...1,11)=50/(1,07...1,11)=46,7…45 кН.

Gо\* = 46 кН.

**Номинальная** (максимальная) **мощность двигателя** находится из условия реализации заданной номинальной скорости движения Vн при номинальном тяговом усилии Рн трактора по формуле:

Νн = (Рн + Рf)Vн/(ηтрηвуηδηим), (8)

где Рf - сила сопротивления качению:

Рf = fGмакс.р;

где f - коэффициент сопротивления качению, f= 0,07;

Рf = 0,07·50 = 3,50 кН;

Vн=8,0 км/ч = 2,22 м/с;

ηтр - механический к.п.д. силовой передачи (трансмиссии);

ηву - к.п.д. ведущего участка движителя гусеничного трактора, следует принимать ηву. = 0,97;

ηδ - коэффициент, учитывающий потери от буксования движителя (для гусеничных тракторов ηδ = 0,95, δ = 5 %;

ηим - коэффициент использования номинальной мощности двигателя, учитывающий резервирование мощности на трогание с места и преодоление дополнительных сил сопротивления движению, ηим= 0,92.

При определении к.п.д. трансмиссии следует использовать эмпириоаналитическую формулу:

ηтр = ηхη1n1η2n2, (9)

где ηх - к.п.д. «холостого хода» трансмиссии, ηх = 0,96;

η1, η2 - к.п.д. соответственно цилиндрической и конической пар шестерен: η1 = 0,985; η2 = 0,975;

n1, n2 - число пар соответственно цилиндрических и конических шестерен, работающих в трансмиссии на данной передаче. n1=4, n2 = 1.

ηтр = 0,96·0,9854·0,9751=0,88;

Νн = (30+ 3,5)·2,22/(0,88·0,97·0,95·0,92)=99,69 кВт=135,6 л.с.

Принимаем: Νн = 136 л.с.=100 кВт.

Далее оценивают удельную массу трактора по формуле:

mуд\*= 103Go\*/(Nнg), кг/кВт,

mуд\*= 103·46/(100·9,81)= 46,9 кг/кВт.

Затем следует проанализировать и при необходимости скорректировать полученное значение удельной массы mуд\* с учетом этого показателя у трактора-прототипа, других тракторов, учесть тенденции развития тракторостроения (см. табл. 2). Принятое после корректировки значение удельной массы обозначим mуд.

Таблица 2. Удельная масса тракторов mуд в зависимости от номинальной скорости движения, кг/кВт

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Тип трактора | Номинальная скорость движения Vн м/с (км/ч) | | |
| 1,0…1,4  (3,5…5,0) | 1,4…2,5  (5,0…9,0) | 2,5  (9,0) |
| гусеничный | 120…135 | 82…110 | 55…95 |

Принимаем: mуд\*=90 кг/кВт,

После этого следует уточнить значения конструктивного Gо и минимального эксплуатационного веса (1).

Gо = 10-3mудNнg

Gо =0,001·90·100·9,81=88,3 кН;

Gмин ≈(1,07…1,11)· Gо =(1,07…1,11)·88,3=94,5…98 кН.

Gмин ≥ Gмакс.р, то эксплуатационный вес трактора принимают равным G = Gмин=96

Принимаемое в дальнейших расчетах значение эксплуатационного веса трактора для упрощения записей будем обозначать G.

**3. Баланс мощности и потенциальная тяговая характеристика**

При расчете баланса мощности принимают идеальные предпосылки в использовании трактора:

- автоматическое и бесступенчатое изменение передаточного числа трансмиссии, и, следовательно, тягового усилия и скорости движения;

- загрузка двигателя постоянна, не зависит от тягового усилия и соответствует номинальному режиму;

- к.п.д. трансмиссий и сила сопротивления перекатывания остаются постоянными и не зависят от нагрузочного и скоростного режима работы трактора;

- трактор движется равномерно по горизонтальному участку.

При принятых условиях уравнение баланса мощности имеет вид:

Νн = Νтр + Νδ + Νf + Νкр, (10)

где Νтр - мощность, теряемая в трансмиссии:

Νтр = Νн(1 - ηтр); (11)

Νтр = 100·(1 - 0,88)=12 кВт;

Νδ - мощность, затрачиваемая на буксование движителей:

Νδ = Νкδ; (12)

δ - коэффициент буксования;

Νк - мощность, подводимая к ведущим колесам:

Νк = Νнηтр; (13)

Νк = 100·0,88=88,0 кВт;

Νδ = 88,0 ·0,05=4,4 кВт;

Νf - мощность, затрачиваемая на перекатывание трактора:

Νf = РfV; (14)

V - рабочая (действительная) скорость движения трактора:

V = Vт(1 - δ) = Vтηδ; (15)

ηδ - к.п.д. буксования:

ηδ = 1- δ; (16)

ηδ = 1- 0,05=0,95

Vт - теоретическая (без учета буксования) скорость движения трактора:

Vт = Νк/Рк = Νк/(Ркр + Рf); (17)

Vт = 88/66,7=1,32 м/с;

V = 1,32·(1 - 0,95) = 1,25м/с;

Νf =6,7·1,25=8,38 кВт;

Ркр - тяговое усилие, развиваемое трактором;

Рк - касательная сила тяги:

Рк = Ркр+ Рf; (18)

Ркр = ϕкрG. (19)

Ркр =0,6·96 =57,6 кН;

Рк = 57,6 + 6,7=64,3 кН;

Nкр - тяговая мощность (мощность на крюке) трактора:

Nкр = РкрV

Nкр = 57,6 ·1,25=72,0 кВт;

Νн = 12+ 4,4+ 8,38+ 72 = 99,88 ≈ 100 кВт.

Удельного тягового расхода топлива gкр:

gкр = 103Gтн/Nкр = gенNн/Nкр = gен/ηт, (21)

где Gтн - номинальный часовой расход топлива двигателем;

ηт - тяговый к.п.д. трактора.

ηт = Nкр/Nн = ηтрηвуηδηf, (22)

ηf - к.п.д. перекатывания:

ηf = Ркр/Рк = Ркр/(Ркр+ Рf) = (Рк- Рf)/Рк; (23)

ηf =60/66,7=0,90;

ηт = 0,88·0,97·0,95·0,90 = 0,73;

Gтн = (gен· Nн)/1000; (24)

Gтн = (245· 100)/1000 = 24,5 кг/ч;

gкр = 245/0,73 = 335,62 г/кВт\*ч.

Остальные показатели рассчитываются по приведенным выше формулам. Из графика баланса мощности и потенциальной тяговой характеристики следует, что трактор может работать с высокой степенью использования мощности двигателя на крюке, с высокими значениями тягового к.п.д., низким удельным тяговым расходом топлива только в определенном интервале тяговых усилий. Чем больше отклонения от этого интервала, тем больше суммарные непроизводительные затраты мощности на механические потери в трансмиссии, перекатывание и буксование движителей трактора.

##### Таблица 3. Баланс мощности и потенциальная *тяговая характеристика трактора ДТ-75М*

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Показатель | Результаты расчетов | | | | | | | | | | |
| ϕкр\*) | 0 | 0,10 | 0,20 | 0,30 | 0,40 | 0,45 | 0,50 | 0,55 | 0,60 | 0,65 | 0,669 |
| δ, % | 0,2 | 0,5 | 0,9 | 1,5 | 2,2 | 2,6 | 3,1 | 3,9 | 5,0 | 7,6 | 13,9 |
| Pкр, кН | 0 | 9,6 | 19,2 | 28,8 | 38,4 | 43,2 | 48,0 | 52,8 | 57,6 | 62,4 | 64,2 |
| Pк, кН | 6,7 | 16,3 | 25,9 | 35,5 | 45,1 | 49,9 | 54,7 | 59,5 | 64,3 | 69,1 | 70,9 |
| Vт, м/с | 13,1 | 5,4 | 3,4 | 2,5 | 1,9 | 1,76 | 1,6 | 1,5 | 1,4 | 1,3 | 1,2 |
| Vд, м/с | 13,7 | 5,37 | 3,37 | 2,46 | 1,86 | 1,71 | 1,55 | 1,44 | 1,33 | 1,20 | 1,03 |
| Vд, км/ч | 47,05 | 19,33 | 12,13 | 8,86 | 6,70 | 6,3 | 5,58 | 5,18 | 4,79 | 4,32 | 3,71 |
| Nδ, кВт | 0,176 | 0,440 | 0,792 | 1,320 | 1,936 | 2,288 | 2,728 | 3,432 | 4,400 | 6,688 | 12,232 |
| Nf, кВт | 87,57 | 35,98 | 22,58 | 16,48 | 12,46 | 11,73 | 10,39 | 9,65 | 8,91 | 8,04 | 6,90 |
| Nкр, кВт | 0 | 51,6 | 64,7 | 70,8 | 71,4 | 73,9 | 74,4 | 76,0 | 76,6 | 74,9 | 66,1 |
| gкр,г/кВтч | ∞ | 474,8 | 378,7 | 346,1 | 343,1 | 331,5 | 329,3 | 322,4 | 319,8 | 327,1 | 370,7 |
| ηтяг 1 | 0 | 0,516 | 0,647 | 0,708 | 0,714 | 0,739 | 0,744 | 0,760 | 0,766 | 0,749 | 0,661 |
| ηтяг 2 | 0 | 0,516 | 0,647 | 0,708 | 0,714 | 0,739 | 0,744 | 0,760 | 0,766 | 0,749 | 0,661 |
| Nн = 100 кВт; ηтр = 0,88; Nк = 88 кВт; G = 96 кН; f = 0,07; Pf = 6,7 кН; Gтн = 24,5 кг/ч | | | | | | | | | | | |

Анализ графика баланса мощности и потенциальной тяговой характеристики трактора Т-4А График баланса мощности показывает, как изменяются все составляющие уравнения баланса мощности трактора в зависимости от изменения тягового усилия Ркр, которое может быть в пределах от Ркр=0 (холостой ход) до максимально возможного по сцеплению движителя с почвой Ркрφ .

**4. Тяговый диапазон трактора**

Тяговый диапазон трактора δт представляет собой отношение номинального тягового усилия Pн, как правой границы рабочего интервала тяговых усилий, к минимальному тяговому усилию Рмин - левой границе этого интервала:

δт = Pн/Рмин. (25)

Оценку требуемого значения тягового диапазона принято определять по формуле:

δт = εРн/Рн′, (26)

где Рн,Р’н - номинальные тяговые усилия тракторов, соответственно, рассчитываемого и предыдущего тяговых классов;

ε - коэффициент расширения тяговой зоны трактора, ε = 1,25...1,30.

Обычно тяговый диапазон равен δт = 1,6...1,8. Для тракторов, не имеющих предшествующего тягового класса принимают δт = 2. Чем выше тяговый класс трактора, тем меньше значение δт. Значение тягового диапазона δт<1,6 и δт>2 принимать не рекомендуется.

δт = 1,27·30/20=1,905;

Рмин = Рн /δт =30/1,905=15,75кН.

В рабочем интервале тяговых усилий располагаются основные рабочие передачи трактора.

**5. Передаточные числа трансмиссии**

Диапазон передач должен охватывать скорости и тяговые усилия для всего разнообразия выполняемых трактором работ. Различают три группы передач.

1. *Замедленные* или вспомогательные *передачи* (*технологические*), на которых скорости движения ограничиваются условиями выполнения работ. Эти передачи используются, как правило, с ограниченным тяговым усилием Р ≤ Рн и низкой тяговой мощностью. К ним относятся и передачи заднего хода.

2. *Основные, рабочие передачи* предназначены для выполнения основных сельскохозяйственных работ. Низшая рабочая передача обеспечивает получение номинального тягового усилия, определяемого тяговым классом трактора Рн при скорости движения Vн. В рабочем интервале тяговых усилий используется 4…6 основных передач.

3. *Транспортные передачи* используются для выполнения транспортных работ, холостых переездов трактора и машинно-тракторных агрегатов.

**5.1 Передаточные числа трансмиссии основного ряда передач**

Их необходимо рассчитывать так, чтобы трактор развивал тяговые усилия от минимального Рмин на высшей передаче до номинального Рн на первой передаче с некоторым запасом силы тяги. Передаточное число трансмиссии на первой передаче iтр.1 определяется по формуле:

iтр.1 = (Рн+ Pf) · rк/(k1·Мн·ηтр·ηву); (26)

где k1 – коэффициент загрузки двигателя при номинальном тяговом усилии трактора Рн, k1 =0,95…1,00;

rк - расчетный радиус ведущего колеса;

Мн - номинальный крутящий момент двигателя:

Мн = 9,55Nн/nн, кНм, (26)

Мн = 9,55·100/1780=0,5365 кНм;

Расчетный радиус ведущего колеса гусеничного трактора (радиус начальной окружности звездочки) определяется по формуле:

rк = lзвzк/(2π), (27)

где lзв - шаг звена гусеницы;

zк - число активно действующих зубьев ведущих колес (звездочек) гусеничного движителя.

Радиус ведущей звездочки принимаем по трактору -прототипу.

rк=0,355 м (прил. 3)

iтр.1 = (30+ 6,7) · 0,355/(0,97·0,5365·0,88·0,97)=29,329.

Передаточные числа трансмиссии остальных передач определяют в зависимости от принятого варианта построения ряда передач. Если при переходе с одной передачи на другую предусматривается одинаковая степень загрузки двигателя, то значения передаточных чисел будут представлять собой **геометрический ряд**. Для получения одинаковых интервалов между номинальными значениями тяговых усилий на смежных передачах применяют **арифметический ряд**. Если нужны одинаковые интервалы между скоростями движения, то выбирают **гармонический ряд**.

Наиболее часто используется **геометрический ряд** передач. Тогда знаменатель ряда:

q = {(Рн+ Pf)/[k1(Рмин+ Pf)]}1/z, (28)

где z - число основных, рабочих передач трактора.

q = {(30+ 6,7)/[0,97· (15,75+ 6,7)]}1/4=1,139,

Значения передаточных чисел трансмиссии на других передачах определяют по формуле:

iтр.j = iтр.1/qj-1, (28)

где j - номер рабочей передачи, j = 1, 2, …, z.

iтр.2 = 29,329/1,1392-1=25,750,

iтр.3 = 29,329/1,1393-1=22,607,

iтр.4 = 29,329/1,1394-1=19,848,

**5.2 Передаточные числа трансмиссии для транспортных передач**

Передаточные числа трансмиссии на транспортных передачах определяют исходя из необходимости выполнения работ в интервале скоростей движения от номинальной на высшей рабочей передаче Vнz до номинальной на высшей транспортной - максимальной транспортной скорости движения Vнм. Поэтому передаточное число трансмиссии для высшей транспортной передачи следует определять по формуле:

iтр.м = πrкnн/(30Vнм), (29)

iтр.м = 3,14·0,355·1780/(30·4,86)=13,610,

тогда знаменатель ряда транспортных передач

qт = (iтр.z/iтр.м)1/м, (30)

qт = (19,484/13,610)1/2=1,208,

где м - число транспортных передач.

Значения передаточных чисел на остальных транспортных передачах:

iтр.*l* = iтр.z/q*l*т, (31)

где *l* - номер транспортной передачи, *l* = 1, 2, ... ,м.

iтр.*l* = 19,848/1,208=16,430.

**5.3 Корректировка передаточных чисел трансмиссии**

Требуемые расчетные значения передаточных чисел коробки передач определяют по формуле (расчет произвести только для основных передач):

iкj = iтр.j/(iгпiкп) = iтр.j/iо, (32)

где iгп, iкп - соответственно передаточные числа главной и конечной передач: iгпiкп = iо.

Затем по кинематической схеме коробки передач, определяют, какие шестерни находятся в зацеплении на каждой из расчетных передач и подбирают для них целые числа зубьев в соответствии с требуемыми передаточными числами. Рассчитывают действительные значения передаточных чисел iтр.j. Они будут несколько отличаться от расчетных. Для единичной шестеренной передачи требуемое количество зубьев шестерни Zш (ведущая шестерня) и колеса Zк (ведомая шестерня) можно определить по формулам:

Zш = ZΣ/(i + 1);

Zк = ZΣ - Zш = iZΣ/(i + 1),

где ZΣ - суммарное количество зубьев передачи ZΣ = Zш + Zк;

i - требуемое передаточное число передачи.

Значения Zш и Zк округляются до ближайшего целого числа.

Значение ZΣ можно принять таким же, как и у трактора-прототипа, или близким к нему. Числа зубьев шестерен, уточненные значения передаточных чисел трансмиссии и номинальной скорости движения трактора (без учета буксования) заносятся в табл. 4. В расчетно-пояснительной записке приводится рисунок с кинематической схемой трансмиссии трактора.

Таблица 4. Уточненные значения передаточных чисел трансмиссии

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Наименование  показателей | Передачи | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| Расчетное передаточное число трансмиссии **iтр** | 29,329 | 25,750 | 22,607 | 19,848 |
| Передаточное число центральной и конечной передач **iо** | 24,84 | | | |
| Числа зубьев шестерен коробки передач | 43  35 | 40  38 | 38  40 | 35  43 |
| Скорректированное передаточное число трансмиссии **iтр\*** | 30,518 | 26,147 | 23,598 | 20,219 |
| Теоретическая скорость движения **Vт**, м/с | 2,17 | 2,54 | 2,81 | 3,28 |

**6. Регуляторная характеристика двигателя**

Регуляторная характеристика двигателя (Рис. 2) устанавливает взаимосвязь между частотой вращения коленчатого вала ne, эффективной мощностью Ne, часовым Gт и удельным эффективным ge расходами топлива и развиваемым им крутящим моментом Мк. Расчет производится для внешней характеристики двигателя, получаемой при настройке регулятора на максимальную частоту вращения коленчатого вала. Необходимо различать следующие основные режимы работы двигателя:

1. Холостой ход: Мк = 0.

2. Номинальный (максимальной мощности): Мк = Мн.

3. Максимального крутящего момента: Мк = Ммакс.

Работа с *недогрузкой* - регуляторные ветви характеристики: 0 ≤ М ≤ Мн.

Работа с *перегрузкой* - перегрузочные (корректорные, безрегуляторные) ветви характеристики: Мн ≤ М ≤ Ммакс.

**При работе двигателя с недогрузкой** графики изменения частоты вращения вала n = f1(Мк) и часового расхода топлива Gт= f2(Мк) с достаточной степенью точности можно аппроксимировать прямыми линиями:

- частота вращения вала двигателя

n = nх - (nх - nн)k3, (33)

где nх - частота вращения вала двигателя при холостом ходе:

nх = nн(2 + δр)/(2 - δр) ≈ (1 + δр)nн; (34)

δр - степень (коэффициент) неравномерности регулятора двигателя. Для современных тракторных дизелей δр = 0,07…0,10.;

nх = 1780(2 + 0,85)=1931 мин-1;

k3- коэффициент загрузки двигателя:

k3= Мк/Мн; (35)

- эффективная мощность двигателя

Nе = Мкnе/9550, квт; (36)

- часовой расход топлива

Gт = Gтх + (Gтн - Gтх) ·k3, кг/ч, (37)

Gтн - часовой расход топлива, соответствующий номинальной загрузке двигателя:

Gтн= 10-3·gен·Nн, кг/ч; (38)

Gтн= 10-3·245·100 = 24,5 кг/ч;

Gтх - часовой расход топлива при холостом ходе двигателя:

Gтх ≈ (0,25…0,30) ·Gтн; (39)

Gтх ≈ 0,250 ·24,5=6,74 кг/ч;

- удельный расход топлива двигателем:

gе = 10-3Gт/Nе, г/кВтч. (40)

**При работе двигателя с перегрузкой** (корректорные ветви характеристики, Мн ≤ Мк ≤ Ммакс) может быть использована следующая аппроксимация:

Nе = No + kN(Mмакс - Mк)1/2; (41)

Gт = Gтo + kG(Mмакс - Mк)1/2; (42)

где kN, kG - коэффициенты, определяемые при математической обработке результатов тормозных испытаний двигателей.

Коэффициенты kN и kG можно рассчитать, если известны коэффициенты приспособляемости двигателя по крутящему моменту

k = Mмакс/Мн (43)

и частоте вращения вала

ko = no/nн, (44)

а также удельный расход топлива двигателем при максимальном крутящем моменте gеo=265 г/кВтч.

Расчет выполняется по формулам:

kN = (Nн - No)/[(Mмакс - Mн)1/2]; (45)

kG = (Gтн - Gтo)/[(Mмакс - Mн)1/2], (46)

где No, Gтo - соответственно, мощность двигателя и часовой расход топлива двигателем при максимальном крутящем моменте Mмакс:

No = Mмаксno/9550= kMнnн/(9550ko) = kNн/ko; (47)

No = 1,2·0,707·100= 84,8 кВт,

Gтo = gеoNн/1000; (48)

Gтo = 0,846·24,5=20,7кг/ч.

Значениями k, ko и gеo можно задаться или принять такими же как и у двигателя трактора-прототипа.

Кроме номинального режима и режима максимального крутящего момента на корректорной ветви характеристики следует определить значения показателей работы двигателя для одного, двух промежуточных уровней загрузки.

- задавшись значениями коэффициента загрузки двигателя по моменту 1 ≤ kз = Mк/Mн ≤ k, определить крутящий момент двигателя по формуле

Мк = kз·Mн, Нм

Мк = 1,2·536,5=643,8 Нм

kN = (100– 84,8)/[(643,8– 536,5)1/2]=1,47,

kG = (24,5– 20,7)/[(643,8– 536,7)1/2]=0,37.

Проанализировать полученные данные, указав коэффициенты приспособляемости двигателя по крутящему моменту и частоте вращения вала, сравнив основные параметры характеристики с двигателем трактора-прототипа.

**7. Тяговая характеристика трактора**

Тяговая характеристика трактора показывает, как в зависимости от нагрузки на крюке Ркр (тягового усилия трактора) и включенной передачи изменяются основные показатели: скорость движения V, мощность на крюке (тяговая мощность) Nкр, часовой Gт и удельный тяговый gкр расходы топлива, потери на буксование движителя δ. Трактор движется равномерно по горизонтальному участку. При выполнении курсовой работы тяговая характеристика строится только для основных передач трактора (рисунок 3а).

Последовательность расчета тяговой характеристики трактора.

Значения указанных в табл. 5 показателей следует вычислять по формулам:

- касательная сила тяги

Рк = Мк·iтр·ηтр·ηву/(103·rк); (49)

- нагрузка на крюке (тяговое усилие) трактора

Ркр = Рк - Рf; (50)

- к.п.д. перекатывания

ηf = Р/Рк = Ркр/(Ркр + Рf); (51)

- сцепной вес трактора Gсц для гусеничных тракторов и колесных тракторов с колесной формулой 4К4 равен эксплуатационному весу трактора G. Для колесных тракторов с колесной формулой 4К2:

Gсц = [G· (L - а) + Р·hкр]/L, (52)

- коэффициент буксования

δ = В-1·ln[А/(ϕм - Р/Gсц)]; (53)

- теоретическая скорость движения

Vт = π·rк·ne/(30iтр) ≈ 0,105·rк·ne/iтр, м/с (\*3,6, км/ч); (54)

- рабочая (действительная) скорость движения

V = Vт· (1-δ), м/с (\*3,6, км/ч); (55)

- тяговая мощность трактора

Nкр = РкрV; (56)

- удельный тяговый расход топлива

gкр = 103Gт/Nкр, г/квт.ч; (57)

- тяговый к.п.д. трактора

ηт = Nкр/Nе = ηтрηвуηδηf = ηтрηву(1 - δ)Ркр/Рк. (58)

Показатели двигателя при холостом ходе трактора рассчитываются по формулам:

- крутящий момент двигателя

Мхт = 103Pfrк/(iтpηтpηву); (59)

- частота вращения вала двигателя

nхт = nх- (nх- nн)Мхт/Mн; (60)

- часовой расход топлива

Gтхт = Gтх+ (Gтн- Gтх)Мхт/Мн. (61)

Расчеты произвести только для основных передач трактора. Результаты расчетов привести в табл. 5. Представить тяговую характеристику трактора в графическом виде - Рисунок 3а.

**8. Лучевой график загрузки двигателя**

Лучевой график загрузки двигателя показывает, как изменяется загрузка двигателя в зависимости от величины касательной силы тяги Рк или тягового усилия Ркр трактора и номера передачи – Рисунок 3б. При геометрическом ряде передач рациональный диапазон загрузки двигателя по крутящему моменту (на рисунке выделен жирной линией и точками) остается постоянным и не зависит от номера передачи:

Ммин ≤ М ≤ Мн

где Ммин - минимальный крутящий момент двигателя, такой, что при М<Ммин выгодней перейти на соседнюю (смежную) повышенную передачу.

Минимальный крутящий момент двигателя определяется по формуле:

Ммин = Мн/q,

где q - знаменателя геометрического ряда передач (20) или среднее значение знаменателя для скорректированных значений передаточных чисел трансмиссии (таблица 4):

q = (iтр.1/iтр.z)1/(z-1).

При построения графика использовать приведенные в таблице 5 данные. График лучевой диаграммы загрузки двигателя следует строить, учитывая, что величина касательной силы тяги изменяется прямо пропорционально величина крутящего момента двигателя. При анализе лучевой диаграммы загрузки, двигателя следует определить: рациональную степень загрузки двигателя k по крутящему моменту М; рабочий диапазон силы тяги трактора Ркр, соответствие его диапазону, определенному в разделе 2.1, и потенциальной тяговой характеристике трактора (рисунок 2). Сделать соответствующие выводы.

Таблица 5. Регуляторная характеристика двигателя А-41 и тяговая характеристика трактора ДТ-75М

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Исходные данные | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| G, кН | f | | Pf, кН | | ηтр | | rк, м | | **А** | | **В** | | ϕm | | ηтр | | Мн,Н∙м | |
| 96 | 0,05 | | 6,72 | | 0,88 | | 0,355 | | 0,75 | | 47,6 | | 0,67 | | 0,97 | | 536,5 | |
| Регуляторная характеристика двигателя А-41 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Расч. т. | | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | | 5\*) | | 6 | | 7 | | 8 | | 9 |
| Кз | | 0 | | 0,25 | | 0,5 | | 0,75 | | 1 | | 1,05 | | 1,10 | | 1,15 | | 1,2 |
| Mк, Нм | | 0 | | 134,1 | | 268,3 | | 402,4 | | 536,5 | | 563,3 | | 590,2 | | 617,0 | | 643,8 |
| nе, об/м | | 1931,0 | | 1893,0 | | 1855,5 | | 1818 | | 1780 | | 1660 | | 1545 | | 1430 | | 1258 |
| Ne, кВт | | 0 | | 26,6 | | 52,1 | | 76,6 | | 100 | | 97,9 | | 95,6 | | 92,4 | | 84,8 |
| Gт, кг/ч | | 6,74 | | 11,18 | | 15,62 | | 20,06 | | 24,5 | | 24,0 | | 23,4 | | 22,6 | | 20,7 |
| ge,г/кВтч | | ∞ | | 420,3 | | 299,8 | | 261,9 | | 245 | | 245,2 | | 247,4 | | 250 | | 265 |
| Тяговая характеристика трактора ДТ-75М  Агрофон - стерня зерновых, среднесуглинистый чернозем | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **Передача 1**, iтр = 30,518, Мхт= 91,58 Нм; nхт= 1905 м-1; Gтхт= 9,77 кг/ч | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Pк, кН | | 6,72 | | 9,8 | | 19,7 | | 29,5 | | 39,4 | | 41,3 | | 43,3 | | 45,3 | | 47,2 |
| Pкр, кН | | 0 | | 3,1 | | 13,0 | | 22,8 | | 32,7 | | 34,6 | | 36,6 | | 38,6 | | 40,5 |
| Gсц, кН | | 96 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| δ, % | | 0,24 | | 0,34 | | 0,71 | | 1,16 | | 1,73 | | 1,86 | | 2,01 | | 2,16 | | 2,32 |
| Vт,м/с | | 2,36 | | 2,31 | | 2,27 | | 2,22 | | 2,17 | | 2,03 | | 1,89 | | 1,75 | | 1,54 |
| V, м/с | | 2,35 | | 2,30 | | 2,25 | | 2.20 | | 2,14 | | 1,99 | | 1,85 | | 1,71 | | 1,5 |
| V, км/ч | | 8,47 | | 8,30 | | 8,1 | | 7,9 | | 7,7 | | 7,2 | | 6,7 | | 6,2 | | 5,4 |
| Nкр, кВт | | 0 | | 7,13 | | 29,3 | | 50,2 | | 70,8 | | 68,9 | | 67,7 | | 66,0 | | 60,8 |
| gкр,г/кВтч | | ∞ | | 1568,0 | | 533,1 | | 399,6 | | 350,0 | | 348,3 | | 345,6 | | 342,4 | | 340,5 |
| ηтяг | | 0 | | 0,268 | | 0,562 | | 0,655 | | 0,708 | | 0,704 | | 0,708 | | 0,714 | | 0,717 |
| **Передача 2**, iтр = 26,147, Мхт= 106,9 Нм; nхт= 1900 м-1; Gтхт= 10,28 кг/ч | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Pк, кН | | 6,72 | | 8,43 | | 16,87 | | 25,30 | | 33,73 | | 35,42 | | 37,10 | | 38,79 | | 40,48 |
| Pкр, кН | | 0 | | 1,71 | | 10,15 | | 18,58 | | 27,01 | | 28,70 | | 30,39 | | 32,07 | | 33,76 |
| Gсц, кН | | 96 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| δ, % | | 0,24 | | 0,29 | | 0,60 | | 0,95 | | 1,38 | | 1,48 | | 1,58 | | 1,69 | | 1,80 |
| Vт,м/с | | 2,76 | | 2,70 | | 2,65 | | 2,59 | | 2,54 | | 2,37 | | 2,20 | | 2,04 | | 1,79 |
| V, м/с | | 2,75 | | 2,69 | | 2,63 | | 2,57 | | 2,50 | | 2,33 | | 2,17 | | 2,00 | | 1,76 |
| V, км/ч | | 9,89 | | 9,69 | | 9,47 | | 9,24 | | 9,01 | | 8,39 | | 7,81 | | 7,22 | | 6,34 |
| Nкр, кВт | | 0 | | 4,60 | | 26,70 | | 47,75 | | 67,53 | | 66,87 | | 65,95 | | 64,14 | | 59,42 |
| gкр,г/кВтч | | ∞ | | 2430,4 | | 585,0 | | 420,1 | | 362,8 | | 358,9 | | 354,8 | | 352,4 | | 348,4 |
| ηтяг | | 0 | | 0,173 | | 0,512 | | 0,623 | | 0,675 | | 0,683 | | 0,690 | | 0,694 | | 0,701 |
| |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | **Передача 3**, iтр = 23,598, Мхт= 118,4 Нм; nхт= 1898 м-1; Gтхт= 10,65 кг/ч | | | | | | | | | | | Pк, кН | 6,72 | 7,61 | 15,22 | 22,83 | 30,44 | 31,96 | 33,49 | 35,01 | 36,53 | | Pкр, кН | 0 | 0,89 | 8,50 | 16,11 | 23,72 | 25,24 | 26,77 | 28,29 | 29,81 | | Gсц, кН | 96 | | | | | | | | | | δ, % | 0,24 | 0,27 | 0,54 | 0,84 | 1,20 | 1,28 | 1,37 | 1,45 | 1,55 | | Vт,м/с | 3,05 | 2,99 | 2,93 | 2,87 | 2,81 | 2,62 | 2,44 | 2,26 | 1,99 | | V, м/с | 3,04 | 2,98 | 2,92 | 2,85 | 2,78 | 2,59 | 2,41 | 2,23 | 1,96 | | V, км/ч | 10,95 | 10,74 | 10,49 | 10,25 | 10,00 | 9,32 | 8,67 | 8,01 | 7,04 | | Nкр, кВт | 0 | 2,65 | 24,82 | 45,91 | 65,94 | 65,37 | 64,52 | 63,09 | 58,43 | | gкр,г/кВтч | ∞ | 4218,9 | 629,3 | 436,9 | 371,6 | 367,1 | 362,7 | 358,2 | 354,3 | | ηтяг | 0 | 0,100 | 0,476 | 0,599 | 0,659 | 0,668 | 0,675 | 0,683 | 0,689 | | **Передача 4**, iтр = 20,219, Мхт= 138,2 Нм; nхт= 1892 м-1; Gтхт= 11,32 кг/ч | | | | | | | | | | | Pк, кН | 6,72 | 6,52 | 13,04 | 19,56 | 26,08 | 27,39 | 28,69 | 30,00 | 31,30 | | Pкр, кН | 0 | 0,20 | 6,32 | 12,84 | 19,36 | 20,67 | 21,97 | 23,28 | 24,58 | | Gсц, кН | 96 | | | | | | | | | | δ, % | 0,24 | 0,24 | 0,45 | 0,71 | 0,99 | 1,05 | 1,12 | 1,18 | 1,25 | | Vт,м/с | 3,56 | 3,49 | 3,42 | 3,35 | 3,28 | 3,06 | 2,85 | 2,64 | 2,32 | | V, м/с | 3,55 | 3,48 | 3,41 | 3,33 | 3,25 | 3,03 | 2,82 | 2,61 | 2,29 | | V, км/ч | 12,78 | 12,53 | 12,26 | 11,98 | 11,70 | 10,90 | 10,14 | 9,38 | 8,25 | | Nкр, кВт | 0 | 0,70 | 21,55 | 42,76 | 62,92 | 62,63 | 61,96 | 60,76 | 56,29 | | gкр,г/кВтч | ∞ | 8373,3 | 724,8 | 469,1 | 389,4 | 383,2 | 377,7 | 372,0 | 367,7 | | ηтяг | 0 | 0,026 | 0,414 | 0,558 | 0,629 | 0,640 | 0,648 | 0,658 | 0,664 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| *Пояснения*: \*) столбцы: 1 – холостой ход двигателя и трактора; 2 – номинальный режим; 3 – режим максимальных крутящего момента двигателя и тягового усилия трактора | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

**9. Анализ технико-экономических показателей трактора**

Анализ тяговой характеристики трактора должен содержать данные о диапазонах изменения основных показателей работы: - тягового усилия; - скорости движения; - расхода топлива; - потерь на буксование; - тягового к.п.д.

**9.1 Анализ потенциальной тяговой характеристики**

Анализируя потенциальную тяговую характеристику трактора мы видим, что рабочие передачи попадают в диапазон тягового усилия на крюке: Pкр=15,75…30 кН. При минимальном значении тягового усилия на крюке остальные составляющие характеристики будут иметь следующие значения:

-рабочая скорость движения: V=2,85 м/с=10,25км/ч;

-удельный тяговый расход топлива: gкр=436,9г/кВтч;

-коэффициент буксования: δ=0,84 %;

-мощность развиваемая трактором на крюке (тяговая мощность): Nкр=45,91 кВт

При номинальном значении тягового усилия:

-рабочая скорость движения: V=2,78 м/с=10,00 км/ч;

-удельный тяговый расход топлива: gкр=371,6 г/кВтч;

-коэффициент буксования: δ=1,20 %;

-мощность развиваемая трактором на крюке (тяговая мощность): Nкр=65,94 кВт.

**9.2 Анализ тяговой характеристики**

Анализ тяговой характеристики трактора показывает:

1. Номинальное тяговое усилие на первой рабочей передаче: Pн1=32,7 кН, номинальное тяговое усилие трактора прототипа: Pн=30 кН, в результате мы получаем запас по тяговому усилию на крюке: Pн=2,7 кН.
2. Номинальное тяговое усилие на четвертой рабочей передаче:

Pн4=19,4 кН.

Тяговые усилие на рабочих передачах попадают в диапазон от 15,75 кН до 30 кН.

1. Значение коэффициента буксования при номинальных тяговых усилиях на рабочих передачах имеет следующие значения:

- на первой передаче: δ1=1,73 %;

- на второй передаче: δ2=1,38 %;

- на третьей передаче: δ3=1,20 %;

- на четвертой передаче: δ4=0,99 %.

В результате получается, что коэффициент буксования лежит в пределах от 1,73 % до 0,99 %. Максимальный коэффициент буксования на первой передачи: δ1=2,32%.

4) Рабочая скорость движения на первой передачи: Vр1 =5,4…8,47 км/ч, на четвертой передаче: Vр4 =8,25…12,78 км/ч, получаем диапазон изменения скоростей на рабочих передачах от 5,4 км/ч до 12,78 км/ч.

5) Удельный тяговый расход топлива при номинальном значении тягового усилия на крюке увеличивается с увеличением номера включенной передачи: gкр1=350,0 г/кВтч, gкр1=389,4 г/кВтч.

Тяговая мощность, в отличии от удельного тягового расхода топлива, уменьшается с увеличение номера включенной передачи: Nкр1=70,8 кВт, Nкр4=62,92 кВт.

**Список литературы**

1. Чудаков Д.А. Основы теории и расчета трактора и автомобиля. - М.: Колос. 1972. - 384 с.

2. Скотников В.А. и др. Основы теории и расчета трактора и автомобиля. М.: Агропромиздат. 1986. - 383 с.

3. Тракторы. Теория. Под общ. ред. Гуськова В.В.. - М.: Машиностроение, 1988. - 376 с.

4. Анилович В.Я., Водолажченко Ю.Т. Конструирование и расчет сельскохозяйственных тракторов. - М.: Машиностроение, 1976. – 456 с.

5. Долматовский Ю.А. и др. Тракторы и автомобили: Краткий справочник. - М.: Колос, 1966. - с.

6. Тяговые характеристики сельскохозяйственных тракторов: Альбом-справочник. - М.: Россельхозиздат. 1979. - 240 с.

7. Барсуков А.Ф., Еленев А.В. Справочник по сельскохозяйственной технике. - М.: Колос, 1981. - 463 с.

8. Ходовые системы тракторов: Справочник. - М.: Агропромиздат, 1986. - 271 с.

9. Регулировки тракторов: Справочник под общ. ред. проф. Н.С. Горбунова. - Л.: Колос, 1979.