

На правах рукописи



Новосельский Алексей Евгеньевич

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОМЫШЛЕННОГО
ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТА С АВТОМАТИЧЕСКОЙ ТРАНСМИССИЕЙ
ПУТЁМ РАЦИОНАЛЬНОГО ВЫБОРА ЕЁ ПАРАМЕТРОВ**

Специальность 05.05.03 – «Колёсные и гусеничные машины»

Автореферат
диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Челябинск – 2009

Работа выполнена в ОАО «Научно-исследовательский институт автотракторной техники» и на кафедре специальных и дорожно-строительных машин Южно-Уральского государственного университета.

Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент
Бондарь Владимир Николаевич.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Драгунов Геннадий Дмитриевич,
кандидат технических наук, доцент
Бердов Евгений Иванович.

Ведущее предприятие – ООО «Челябинский тракторный завод – УРАЛТРАК»,
г. Челябинск.

Защита состоится 28 октября 2009 г., в 13 часов, на заседании диссертационного совета Д 212.298.09 при Южно-Уральском государственном университете: 454080, г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76, ауд. 1001.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Южно-Уральского государственного университета.

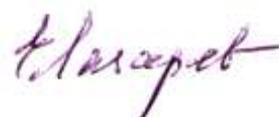
Отзывы в двух экземплярах, заверенных печатью, просим направлять по адресу: 454080, г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76, ЮУрГУ, на имя ученого секретаря диссертационного совета.

Телефон для справок (351) 267-91-23.

E-mail: D212.298.09@mail.ru

Автореферат разослан «___» _____ 2009 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
доктор технических наук, профессор



Лазарев Е.А.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Промышленное использование тракторов характеризуется целым рядом специфических особенностей их эксплуатации, таких как цикличность технологических процессов, высокая неравномерность загрузки землеройного агрегата, повышенный динамический режим и вибрация, различные климатические условия эксплуатации и др. Одной из главных причин резкого колебания тяговой нагрузки на промышленный тракторный агрегат является необходимость выполнения им технологического процесса работы с изменяющимися в широком диапазоне тяговыми усилиями и скоростями движения. Решение этой задачи осуществляется применением в составе промышленного трактора автоматической трансмиссии с прозрачной нагружающей характеристикой, которая позволяет выполнить тракторным агрегатом оптимальный рабочий процесс.

Обобщенным техническим критерием оценки эффективности промышленного трактора, как базы дорожно-строительного агрегата, является его эксплуатационная производительность. Известно, что указанный критерий есть функция трех групп показателей: технической производительности, надежности и организационных факторов. В процессе проектирования конструктор непосредственно влияет на первые две независимые друг от друга группы показателей, причем техническая производительность трактора напрямую зависит от правильного выбора его основных параметров. Приведенные удельные затраты, определяемые эксплуатационной производительностью, помимо первых двух групп показателей, определяются организационными факторами, воздействие на которые конструктором ограничено. Таким образом, за частный критерий оценки эффективности промышленного трактора, определяемый проектировщиком, может быть принята его техническая производительность.

С целью создания на базе промышленных тракторов высокопроизводительных землеройных агрегатов в тракторостроении большое внимание уделяется вопросу выбора их оптимальных параметров. При этом одним из основных вопросов является оптимизация тяговой характеристики трактора, которая в значительной степени зависит от параметров его моторно-трансмиссионной установки.

Основным способом повышения технической производительности тракторного агрегата в диссертационной работе предлагается внесение изменений в параметры моторно-трансмиссионной установки его базового трактора, к которым относится выходная характеристика моторно-трансмиссионного блока, обуславливаемая абсолютной мощностью двигателя, характеристикой бесступенчатой трансформаторной установки и способом совмещения трансформирующего блока и двигателя за счет изменения передаточного отношения их согласующего редуктора. Тяговая характеристика тракторного агрегата в значительной степени зависит от передаточного числа механической части трансмиссии на рабочей передаче. Таким образом, оптимизация тяговой характеристики промышленного тракторного агрегата с автоматической трансмиссией в работе осуществлена путем рационального выбора её основных параметров – передаточных чисел механической части моторно-трансмиссионной установки.

Актуальность темы заключается в необходимости повышения эффективности промышленных тракторных агрегатов с автоматической трансмиссией, которая позволяет выполнить землеройным агрегатом оптимальный рабочий процесс.

Целью диссертационной работы является повышение эффективности промышленного тракторного агрегата с автоматической трансмиссией путём рационального выбора её параметров.

Для достижения указанной цели необходимо решить следующие **задачи**:

1. Разработать математическую модель оптимального рабочего процесса промышленного тракторного агрегата – бульдозера, базовый трактор которого имеет в своем составе автоматическую трансмиссию с прозрачной нагружающей характеристикой.

2. Изучить закономерности изменения технической производительности тракторного агрегата с автоматической трансмиссией от параметров его моторно-трансмиссионной установки – передаточных чисел её механической части.

3. Оценить влияние внешних условий эксплуатации тракторного агрегата с автоматической трансмиссией на величину его технической производительности.

4. Разработать методику выбора параметров механической части автоматической трансмиссии тракторного агрегата по допустимому уровню снижения его технической производительности.

5. Выработать практические рекомендации по совершенствованию конструктивных параметров моторно-трансмиссионной установки промышленного трактора с автоматической трансмиссией, направленные на повышение его технической производительности.

Объект исследования. Промышленный тракторный агрегат с автоматической трансмиссией на примере бульдозерного агрегата на базе промышленного дизель-электрического трактора с полнопоточной электромеханической трансмиссией на машинах постоянного тока.

Предмет исследования. Техническая производительность промышленного тракторного агрегата при рациональном выборе параметров его автоматической трансмиссии.

Методы исследования. Исследования проведены с использованием методов теории тракторов и автомобилей, теории автоматизированных приводов, вычислительной математики, теории вероятностей и математической статистики, элементов теории оптимального управления.

Научная новизна диссертационной работы

1. Разработана математическая модель оптимального рабочего процесса промышленного тракторного агрегата – бульдозера, базовый трактор которого имеет в своем составе автоматическую трансмиссию, отличающаяся от известных моделей наличием процесса заглупления отвала и понижением порядка дифференциального уравнения копания в процессе набора грунтовой призмы волочения.

2. Установлены закономерности изменения технической производительности тракторного агрегата с автоматической трансмиссией от параметров его моторно-трансмиссионной установки.

3. Установлены закономерности изменения технической производительности тракторного агрегата с автоматической трансмиссией от внешних условий его эксплуатации.

4. Разработана методика выбора параметров механической части автоматической трансмиссии тракторного агрегата по допустимому уровню снижения его технической производительности.

Практическая ценность работы:

– разработанная модель оптимального рабочего процесса промышленного тракторного агрегата и прикладная программа её численной реализации позволяют на ранней стадии проектирования обоснованно выбирать параметры механической части автоматической трансмиссии по допустимому уровню снижения технической производительности землеройного агрегата;

– разработанные практические рекомендации по совершенствованию конструктивных параметров моторно-трансмиссионной установки промышленного трактора с автоматической трансмиссией позволяют повысить эффективность промышленных дизель-электрических тракторов ДЭТ-250М2 и ДЭТ-320.

Апробация диссертационной работы. По теме диссертации опубликованы 8 печатных работ, в том числе 3 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК, получен патент на полезную модель.

Результаты работы обсуждены на научно-технических конференциях на XXXV Уральском семинаре по механике и процессам управления, г. Миасс Челябинской обл. (2005 г.); в Пермском государственном техническом университете, г. Пермь (2007 г.); в Челябинском государственном агроинженерном университете, г. Челябинск (2006–2008 гг.); на ежегодных научно-технических конференциях ЮУрГУ, г. Челябинск (2003–2008 гг.), в Научно-исследовательском институте автотракторной техники, г. Челябинск (2003–2009 гг.)

Внедрение результатов работы. Результаты работы использованы:

– ООО «Челябинский тракторный завод – УРАЛТРАК» при модернизации промышленного дизель-электрического трактора с полнопоточной электромеханической трансмиссией;

– ОАО «Научно-исследовательский институт автотракторной техники» при проведении научно-исследовательских работ по модернизации промышленного дизель-электрического трактора с полнопоточной электромеханической трансмиссией.

Достоверность полученных результатов подтверждается стендовыми и лабораторно-полевыми испытаниями промышленных дизель-электрических тракторов ДЭТ-250М2 и ДЭТ-320, проведенными ОАО «Научно-исследовательский институт автотракторной техники» совместно с ООО «Челябинский тракторный завод – УРАЛТРАК».

Структура и объем работы. Диссертация изложена на 187 страницах основного текста, включая 89 рисунков и 23 таблицы, состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, включающего 125 наименований, и приложений.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность исследования по повышению эффективности промышленных тракторных агрегатов с автоматической трансмиссией, сформулированы цели и задачи исследования, научная новизна и практическая полезность работы. Дается общая характеристика и краткое содержание диссертации.

В первой главе диссертации рассмотрены специфические особенности работы промышленного трактора и его трансмиссии, оценена практическая эффективность использования автоматических трансмиссий в составе моторно-трансмиссионных установок промышленных тракторов, а также рассмотрено современное состояние вопроса повышения эффективности промышленных тракторов путем выбора оптимальных тягово-скоростных показателей и согласования режимов работы двигателя внутреннего сгорания (ДВС) с режимами работы трансформирующего блока моторно-трансмиссионной установки трактора.

В промышленном тракторостроении большое внимание уделяется вопросу выбора оптимальных параметров тракторов с целью создания на их базе высокопроизводительных агрегатов. При этом одним из основных вопросов является оптимизация тяговой характеристики трактора. Вопрос построения тяговой характеристики агрегата включает в себя выбор оптимального расчетного тягового усилия (передаточного числа трансмиссии) рабочей передачи и выбор ряда передач, обеспечивающих работу во всем диапазоне нагрузок и грунтовых условий.

Методы выбора оптимальных тяговых усилий трактора в значительной степени определяются критериями оценки тяговой характеристики. На сегодняшний день наибольшее распространение получили два типа критериев: энергетические и критерии, основанные на производительности тракторных агрегатов.

К энергетическим критериям относятся: максимальный к.п.д. (тяговый к.п.д.) и допустимый уровень его снижения (Е.М. Харитончик, В.И. Саяпин, И.И. Трепененков, А.П. Парфенов), средняя выходная мощность за рабочий цикл (Ю.В. Гинзбург, М.И. Злотник).

Критериями, основанными на производительности тракторного агрегата, являются максимальная производительность и допустимый уровень ее снижения (Б.М. Позин, В.И. Мининзон, Б.Л. Магарилло, В.В. Кавунов, В.И. Костюченко).

Достижение высоких значений выбранных критериев обеспечивается за счет рационального совмещения нагружающих и преобразующих характеристик автоматической трансмиссии с характеристиками приводного двигателя, ходовой части и рабочего орудия. В основе такого совмещения характеристик лежит выбор оптимальных передаточных чисел механической части моторно-трансмиссионной установки трактора с автоматической трансмиссией.

Выбору оптимальных расчетных тяговых усилий (передаточных чисел механической части трансмиссии после автоматического трансформирующего блока) промышленных тракторов посвящены работы И.С. Кавьярова, Б.М. Позина, Ю.В. Гинзбурга, В.В. Кавунова, В.И. Костюченко. Вопросы выбора оптимальных значений передаточного числа согласующего редуктора между приводным двига-

телем и автоматической трансформирующей установкой при её известных нагружающих и преобразующих характеристиках отражены в работах М.И. Злотника, В.Л. Довжика, С.Н. Вагина, С.В. Кондакова. Одновременным исследованием обоих механических параметров моторно-трансмиссионной установки промышленного трактора на единой критериальной базе никто не занимался, т. е. решалась задача на условный экстремум выбранного критерия. В работе исследовано одновременное влияние этих двух параметров автоматической трансмиссии на техническую производительность землеройного агрегата.

Из приведенного обзора следует, что оптимизация тяговой характеристики промышленных тракторов является одним из путей повышения эффективности работы землеройных агрегатов, создаваемых на их базе. Для промышленных тракторов и всех тракторных агрегатов, рабочий цикл которых связан непосредственно с накоплением грунта и цикличностью выполнения работы, оптимальные тяговые усилия, найденные по энергетическим критериям и критериям производительности, различаются достаточно существенно (И.С. Кавьяров, Б.М. Позин, Б.Л. Магарилло, Ю.П. Саматов). В этом случае более приемлемым критерием является техническая производительность (i) тракторного агрегата, так как она характеризует степень совершенства машины и при отсутствии увеличения удельного расхода топлива и существенного удорожания машины повышение производительности приводит к снижению удельных совокупных затрат. Именно этот критерий выбран в качестве главного критерия повышения эффективности промышленного тракторного агрегата с автоматической трансмиссией.

Во второй главе разработана математическая модель оптимального рабочего процесса промышленного землеройного агрегата – бульдозера, базовый трактор которого имеет в своем составе автоматическую трансмиссию с прозрачными нагружающими и преобразующими характеристиками. В модели оптимального рабочего процесса дополнительно исследован процесс заглабления отвала бульдозера, в отличие от известных моделей, где оптимальные процессы рассмотрены при условии мгновенного заглабления отвала на максимальную глубину. Это не соответствует действительно происходящему при копании явлению, поскольку при разработке грунта всегда имеет место процесс заглабления отвала, зависящий от прочностных характеристик грунта, нагрузки на отвал и параметров режущей кромки отвала. Кроме того, в разработанной модели понижен порядок дифференциального уравнения копания в процессе выглабления отвала при наборе грунтовой призмы волочения.

На основе модели разработана и реализована вычислительная процедура оптимального рабочего процесса с выбором параметров механической части автоматической трансмиссии тракторного агрегата по допустимому уровню снижения его технической производительности.

Общий подход к реализации полученной модели оптимального рабочего процесса актуален для любого тракторного агрегата с автоматической трансмиссией. При заданной характеристике ДВС, нагружающей и преобразующей характеристиках автоматического трансформирующего блока трансмиссии закон движения агрегата, тяговые усилия и, в конечном итоге, производительность определяются

двумя параметрами: передаточным числом согласующего редуктора ($i_{\bar{n}\delta}$) и механической части трансмиссии ($i_{\delta\delta}$). Таким образом, производительность агрегата является функцией двух этих параметров, и общая задача заключается в нахождении $i_{\bar{n}\delta}$, $i_{\delta\delta}$, доставляющих максимум функции $\dot{I}_{\max} = \dot{I}(i_{\bar{n}\delta}, i_{\delta\delta})$. Вычислительная процедура модели выполнена на примере бульдозерного агрегата на базе промышленного дизель-электрического трактора с полнопоточной электромеханической трансмиссией.

ДВС и электрический привод (ЭП) постоянного тока по системе генератор-электродвигатель, соединенные в единый рабочий агрегат, образуют силовую установку (СУ) промышленного дизель-электрического трактора (рис. 1).

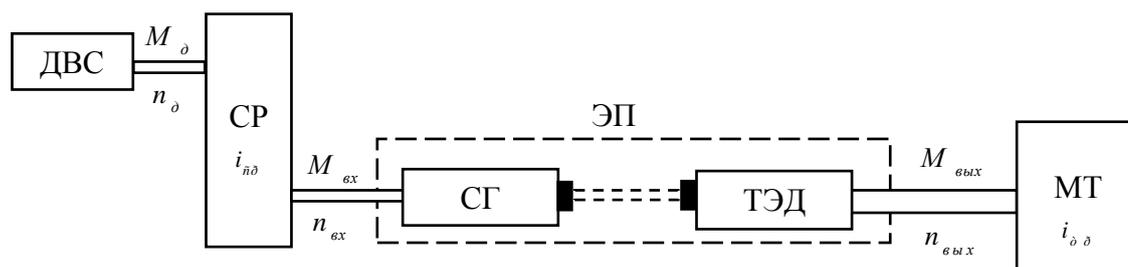


Рис. 1. Силовая установка промышленного дизель-электрического трактора с двухмашинным электрическим приводом: СР – согласующий редуктор; СГ – силовой генератор; ТЭД – тяговый электродвигатель; МТ – механическая часть трансмиссии

ДВС имеет свою собственную выходную характеристику, представляющую собой зависимость момента, мощности и удельного расхода топлива от частоты вращения коленчатого вала ДВС: $M_{\delta} = f_1(n_{\delta})$, $N_{\delta} = \varphi_1(n_{\delta})$, $g_e = \psi_1(n_{\delta})$. Двухмашинный ЭП постоянного тока имеет, в свою очередь, собственную нагружающую характеристику, представляющую собой зависимость входного момента или мощности от частоты вращения входного элемента ЭП: $M_{\text{вх}} = f_2(n_{\text{вх}})$, $N_{\text{вх}} = \varphi_2(n_{\text{вх}})$. При рациональном совмещении рассматриваются характеристики уже существующих ДВС и ЭП. При этом характеристики располагаются друг относительно друга так, чтобы выходной параметр (критерий рациональности – максимальная техническая производительность) был наибольшим.

График совместной работы ДВС и двухмашинного ЭП в виде моментной характеристики двигателя и нагрузочных характеристик А, В, С электротрансмиссии для разных передаточных чисел согласующего редуктора привода силового генератора ($i_{\bar{n}\delta A}$, $i_{\bar{n}\delta B}$, $i_{\bar{n}\delta C}$) представлен на рис. 2. Точки 1, 2, 3; 1', 2', 3'; 1'', 2'', 3'' пересечения характеристик ДВС и ЭП трактора являются точками их совместной работы.

После нахождения координат точек совместной работы определены параметры выходных характеристик СУ трактора (рис. 3). Имея несколько выходных характеристик, следует провести оценку выполненного совмещения и выбрать наилучшую по установленному критерию. Оценка рационального совмещения нагружающих и преобразующих характеристик автоматической трансмиссии с ха-

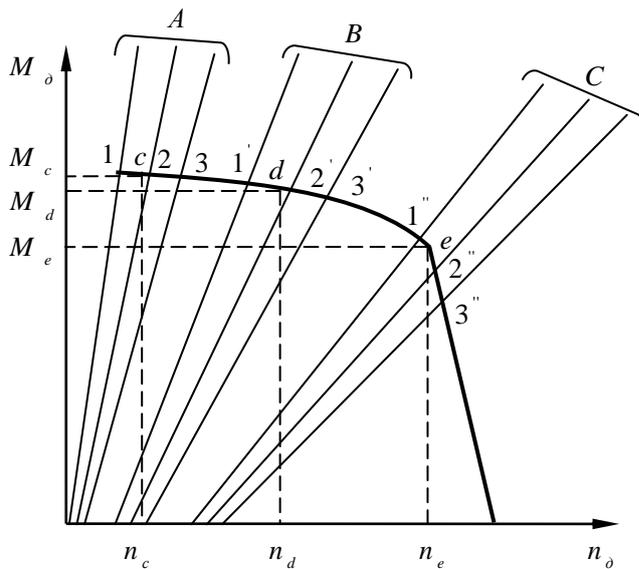


Рис. 2. График совместной работы ДВС и ЭП

ракетриками приводного двигателя, ходовой части и рабочего орудия проведена по критерию максимальной технической производительности и допустимому уровню её снижения.

Для наиболее общей схемы работы бульдозера – траншейной разработки грунта с транспортировкой и отсыпкой грунта в кавальер время рабочего цикла ($\bar{\delta}$) состоит из времени рабочего хода и отката и определяется как сумма времени копания (t_e), транспортировки грунта по горизонтальному участку ($t_{\delta\delta}$) и кавальеру ($t_{\delta\delta\delta\delta}$), времени холостого хода ($t_{\delta\delta}$). Общее время цикла равно:

$$T_{\bar{\delta}} = t_e + t_{\delta\delta} + t_{\delta\delta\delta\delta} + t_{\delta\delta} \quad (1)$$

Производительность бульдозерного агрегата, определяется объемом разработанного и перемещенного грунта в единицу времени:

$$\dot{V} = \bar{q}_{V\delta} / \bar{T}_{\bar{\delta}}, \quad (2)$$

где $\bar{q}_{V\delta}$ – средний объем призмы грунта, разработанной и перемещенной за цикл; $\bar{T}_{\bar{\delta}}$ – среднее значение времени цикла.

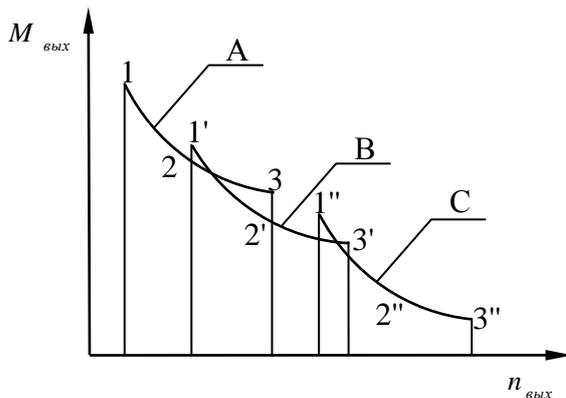


Рис. 3. Выходные характеристики ЭП трактора

Для получения максимальной производительности бульдозера транспортные и холостые ходы должны выполняться на максимальной скорости, допускаемой объемом набранной грунтовой призмы и условиями движения. Рабочий ход должен выполняться таким образом, чтобы заданный объем призмы набирался за минимальное время. Следовательно, задача максимизации производительности сводится к задаче оптимального выполнения хода копания.

Объем призмы волочения грунта ($q_{V\delta}$) в процессе копания в общем случае определяется формулой:

$$q_{V\delta} = q_{\zeta} + q_a, \quad (3)$$

где q_{ζ} , q_a – соответственно, объем призмы, набираемой на участке заглабления и выглабления отвала бульдозера.

Время набора на этапе заглабления отвала определяется свойствами грунта, размерами режущей кромки отвала и вертикальным усилием, действующим на неё. В начале движения, когда перемещение агрегата (x) не превышает толщины режущей кромки (l), процесс заглабления описывается обыкновенным дифференциальным уравнением:

$$\frac{dh}{dt} - \frac{q}{l \cdot c} \cdot \frac{dx}{dt} = 0, \quad (4)$$

где h – величина заглабления отвала; $q = P_a / (\hat{A} \cdot l)$ – удельное давление под кромкой ножа отвала; P_a – усилие на кромке ножа отвала; B – длина отвала; c – коэффициент плотности, характеризующий механические свойства грунта; t – текущее время.

Дальнейшее заглавление отвала описывается уравнением:

$$\frac{dh}{dx} = \frac{h(x) - h(x - l)}{l}. \quad (5)$$

Это уравнение относится к классу линейных дифференциальных уравнений с запаздывающим аргументом и решается пошаговым методом с величиной шага перемещения агрегата равного толщине режущей кромки отвала бульдозера: $\Delta x = l$.

Приращение объема грунтовой призмы волочения на участке заглабления:

$$dq_{\hat{a}} = B \cdot h \cdot dx. \quad (6)$$

Объем призмы волочения грунта $q_{\hat{a}}$ в процессе выглабления отвала определяется формулой:

$$q_{\hat{a}} = \int_{t_0}^{t_e} \eta(\dot{x}) \cdot e^{\int_{t_0}^t \frac{\mu_{\delta} \cdot \gamma}{\hat{e}} \cdot \dot{x} \cdot dt} dt, \quad (7)$$

где t – текущее время; t_0 – начальное время процесса; t_e – время процесса копания; \dot{x} – скорость тракторного агрегата; $\eta(\dot{x})$ – удельная тяговая мощность в функции скорости движения агрегата; μ_{δ} – приведенный коэффициент сопротивления движения грунта по отвалу; γ – объемный вес грунта в плотном теле; \hat{e} – коэффициент сопротивления грунта резанию.

Оптимальный процесс выглабления отвала описывается экстремалиями функционала $q_{\hat{a}}$ и обычно применяется в виде уравнения Эйлера второго порядка (Б.М. Позин), доставляющего необходимые и достаточные условия экстремума функционалу (7):

$$\eta_{\dot{x}\dot{x}} \cdot \ddot{x} + \frac{\mu_{\delta} \cdot \gamma}{\hat{e}} \cdot \eta_{\dot{x}} \cdot \dot{x} - \frac{\mu_{\delta} \cdot \gamma}{\hat{e}} \cdot \eta = 0. \quad (8)$$

Однако подынтегральная функция уравнения (7) имеет специальный вид, допускающий понижения порядка уравнения Эйлера. На самом деле, эта функция не содержит явно независимой переменной t , значит, уравнение Эйлера имеет первый интеграл:

$$e^{\frac{\mu_{\delta} \cdot \gamma}{\hat{e}} \cdot x} \cdot (\eta - \dot{x} \cdot \eta_{\dot{x}}) = C, \quad (9)$$

где \tilde{N} – постоянная, определяемая из начальных условий движения агрегата.

Время выполнения остальных составляющих рабочего цикла вычислялось по формулам:

$$t_{\partial\partial} = \frac{L - l_{\dot{\epsilon}}^{i\dot{r}\partial}}{2} \cdot \frac{1}{V_{\partial\partial}(q_{i\partial})}; \quad t_{\partial\partial\epsilon\dot{\epsilon}\dot{\epsilon}\dot{\epsilon}} = l_{\dot{\epsilon}\dot{\epsilon}\dot{\epsilon}\dot{\epsilon}} \cdot \left[\frac{\bar{1}}{V_{\partial\partial\epsilon\dot{\epsilon}\dot{\epsilon}\dot{\epsilon}}(q_{i\partial})} \right]; \quad t_{xx} = \frac{L + l_{\dot{\epsilon}}^{i\dot{r}\partial}(q_{i\partial}) + 2 \cdot l_{\dot{\epsilon}\dot{\epsilon}\dot{\epsilon}\dot{\epsilon}}}{2 \cdot V_{\partial\partial}}$$

и тогда максимальная производительность бульдозерного агрегата равна:

$$\dot{I}_{\max} = \frac{q_{i\partial}}{t_{\dot{\epsilon}}^{i\dot{r}\partial}(q_{i\partial}) + \frac{L - l_{\dot{\epsilon}}^{i\dot{r}\partial}}{2} \cdot \frac{1}{V_{\partial\partial}(q_{i\partial})} + l_{\dot{\epsilon}\dot{\epsilon}\dot{\epsilon}\dot{\epsilon}} \cdot \left[\frac{\bar{1}}{V_{\partial\partial\epsilon\dot{\epsilon}\dot{\epsilon}\dot{\epsilon}}(q_{i\partial})} \right] + \frac{L + l_{\dot{\epsilon}}^{i\dot{r}\partial}(q_{i\partial}) + 2 \cdot l_{\dot{\epsilon}\dot{\epsilon}\dot{\epsilon}\dot{\epsilon}}}{2 \cdot V_{\partial\partial}}} \quad (10)$$

где $t_{\dot{\epsilon}}^{i\dot{r}\partial}(q_{i\partial})$, $l_{\dot{\epsilon}}^{i\dot{r}\partial}(q_{i\partial})$ – соответственно, время и путь копания в оптимальном режиме в функции емкости отвала; $V_{\partial\partial}(q_{i\partial})$, $V_{\partial\partial\epsilon\dot{\epsilon}\dot{\epsilon}\dot{\epsilon}}(q_{i\partial})$, $V_{\partial\partial}$ – соответственно, скорости движения при транспортировке призмы по горизонтальному участку, кавальеру и скорость холостого хода.

Численной реализацией разработанной модели найден оптимальный рабочий процесс бульдозерного агрегата при траншейной разработке грунта с транспортировкой и отсыпкой призмы волочения в кавальер, обеспечивающий наибольшее значение технической производительности \dot{I}_{\max} для каждого фиксированного значения передаточного отношения редуктора привода силового генератора $i_{n\partial}$ и передаточного числа рабочей передачи механической части трансмиссии $i_{\partial\partial I}$. Общий максимум полученной функции дает оптимальное сочетание значений $i_{n\partial}$, $i_{\partial\partial I}$.

В третьей главе описаны задачи, программа и методика проведенных в рамках диссертационной работы экспериментальных исследований.

С целью проверки выдвинутых теоретических положений и выводов, а также выявления функциональных зависимостей основных факторов, определяющих взаимосвязь выходных показателей моторно-трансмиссионной установки промышленного дизель-электрического трактора с его конструктивными параметрами, которые не могли быть с достаточной точностью установлены путем теоретического анализа, проведен комплекс экспериментальных исследований бульдозерно-рыхлительных агрегатов на базе промышленных дизель-электрических тракторов ДЭТ-250М2 и ДЭТ-320.

При выполнении экспериментальных исследований решались следующие задачи:

- определение показателей работы ДВС, установленного на шасси трактора;
- определение динамической тяговой характеристики промышленного дизель-электрического трактора на немерзлом суглинке и скальном грунте с одновременным замером технической производительности землеройного агрегата при выполнении им траншейной разработки плотного суглинка III-IV категории;
- тензометрирование режимов работы моторно-трансмиссионной установки промышленного дизель-электрического трактора при выполнении рабочих операций на различных грунтах;

– получение исходных данных для рационального совмещения характеристик ДВС и электрической трансмиссии промышленного трактора.

В четвертой главе приведены результаты экспериментальных исследований режимов нагружения бульдозерно-рыхлительного агрегата на базе промышленного дизель-электрического трактора при выполнении им рабочих процессов в различных грунтовых условиях.

Методика выбора параметров механической части автоматической трансмиссии тракторного агрегата по допустимому уровню снижения его технической производительности применена для промышленных дизель-электрических тракторов ДЭТ-250М2 с двигателем В-31М2 и ДЭТ-320 с двигателем ЯМЗ-7511.10-18.

Для получения различных точек совместной работы двигателя В-31М2 и двухмашинного электропривода выбран ряд передаточных отношений повышающего согласующего редуктора привода силового генератора в пределах $0,6 \leq i_{cp} \leq 0,707$. Для каждого передаточного отношения согласующего редуктора построен график совместной работы двигателя и электропривода с параметризацией по силе тока (I) в главной якорной цепи электропередачи. Для примера на рис. 4 представлен график совместной работы двигателя В-31М2 и двухмашинного электропривода с согласующим

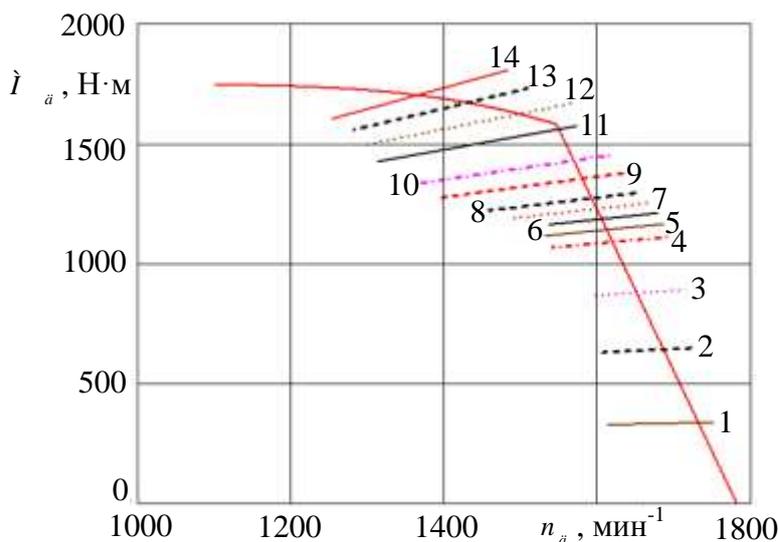


Рис. 4. График совместной работы двигателя В-31М2 и электропередачи ($i_{cp} = 0,707$): 1 – $I = 100$ А; 2 – $I = 200$ А; 3 – $I = 300$ А; 4 – $I = 400$ А; 5 – $I = 425$ А; 6 – $I = 450$ А; 7 – $I = 475$ А; 8 – $I = 500$ А; 9 – $I = 550$ А; 10 – $I = 600$ А; 11 – $I = 710$ А; 12 – $I = 800$ А; 13 – $I = 900$ А; 14 – $I = 1000$ А

редуктором, передаточное отношение которого $i_{cp} = 0,707$.

После определения точек совместной работы двигателя и электропривода построена выходная характеристика силовой установки трактора (рис. 5). Выполнена оценка сходимости полученных результатов с результатами экспериментальных исследований. На Челябинском тракторном заводе под общим руководством начальника группы электрообору-

дования В.С. Большухина проведены эксперименты по определению расчетных рабочих характеристик электротрансмиссии трактора ДЭТ-250М2, в том числе была определена выходная характеристика моторно-трансмиссионной установки. На рис. 5 кружками показаны результаты проведенного эксперимента. Видно, что расчетная кривая (сплошная линия на рис. 5) достаточно точно согласуется с экспериментальными точками. Максимальная ошибка не превышает 6 %.

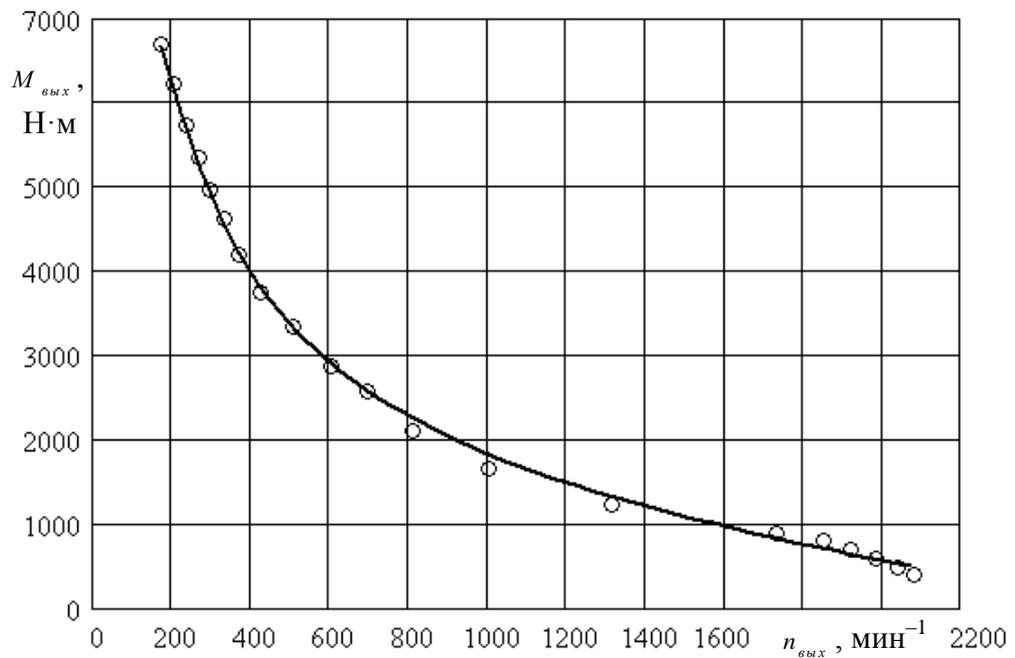


Рис. 5. Выходная характеристика СУ трактора

Далее для каждого совмещения построен оптимальный рабочий процесс при выполнении бульдозерным агрегатом траншейной разработки плотного суглинка III-IV категории ($\mu_s = 0,27$; $\hat{e} = 110 \text{ кН/м}^2$; $\gamma = 2000 \text{ кг/м}^3$) с отсыпкой в кавальер.

По результатам численной реализации оптимального процесса построена поверхность технической производительности в функции двух переменных $\dot{I}_{\max} = \dot{I}(i_{\bar{n}\bar{d}}, i_{\bar{o}\bar{d}l})$ с линиями уровня (рис. 6).

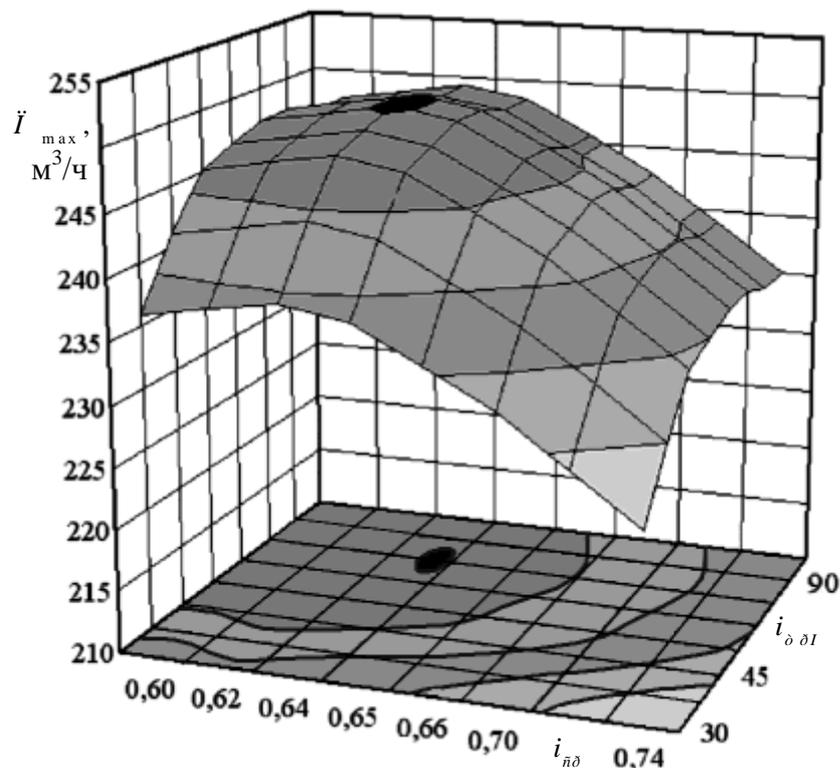


Рис. 6. Зависимость технической производительности землеройного агрегата от механических параметров трансмиссии

Общий максимум найденной функциональной зависимости дает оптимальное сочетание этих двух параметров трансмиссии. Сечения полученной поверхности плоскостями $i_{c\delta} = \text{const}$, $i_{o\delta} = \text{var}$ и $i_{c\delta} = \text{var}$, $i_{o\delta} = \text{const}$ дают условный экстремум производительности по одному из параметров. При изменении передаточных чисел механической части моторно-трансмиссионной установки в диапазонах $i_{\pi\delta}^{\min} \dots i_{\pi\delta}^{\max} = 0,58 \dots 0,675$, $i_{o\delta}^{\min} \dots i_{o\delta}^{\max} = 60 \dots 90$ производительность бульдозера снижается от максимального значения не более чем на 2 % (рис. 7, 8).

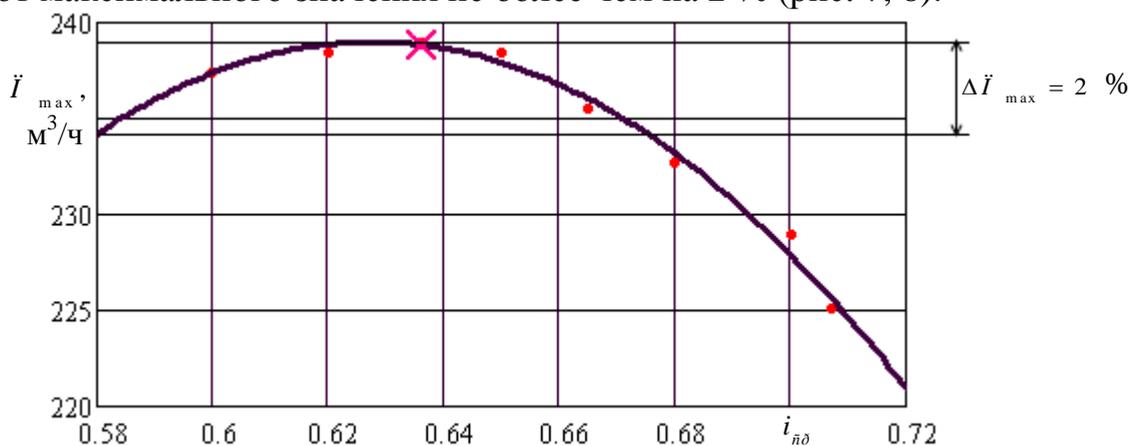


Рис. 7. Зависимость технической производительности от передаточного отношения редуктора привода силового генератора ($i_{o\delta I} = 33,3$)

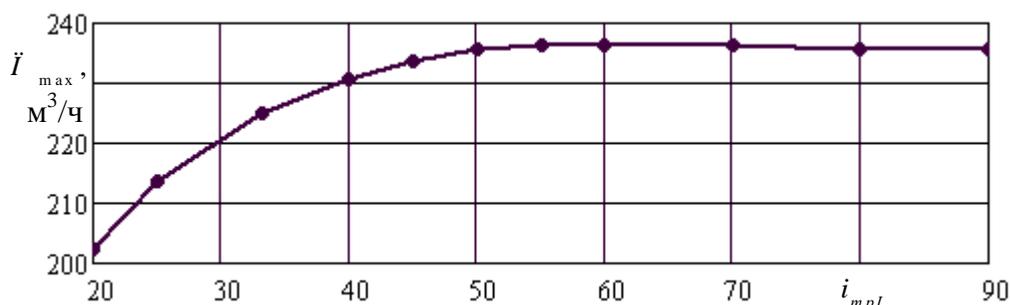


Рис. 8. Зависимость технической производительности от передаточного числа механической части трансмиссии трактора ДЭТ-250М2 ($i_{\pi\delta} = 0,707$)

Аналогичным образом проведен выбор параметров механической части автоматической трансмиссии трактора ДЭТ-320 с двигателем ЯМЗ-7511.10-18.

Предлагаемый метод выбора параметров автоматической трансмиссии промышленного трактора применен также для оценки возможности использования машины в нестандартных условиях эксплуатации.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Разработана математическая модель оптимального рабочего процесса землеройного агрегата – бульдозера, базовый трактор которого имеет в своем составе автоматическую трансмиссию с прозрачными нагружающими и преобразующими характеристиками. В разработанной модели дополнительно исследован процесс заглубления отвала бульдозера. Движение отвала бульдозера предложено описывать линейным дифференциальным уравнением с запаздывающим аргументом.

2. Доказано, что для эйлеровского процесса копания можно понизить порядок дифференциального уравнения до первого, что позволяет существенно упростить общую численную реализацию оптимального процесса бульдозерного агрегата с автоматической трансмиссией и повысить точность полученных результатов.

3. Для промышленных дизель-электрических тракторов с полнопоточной электромеханической трансмиссией на электромашинах постоянного тока существуют оптимальные расчетные тяговые усилия (передаточные числа механической части трансмиссии), обеспечивающие максимальную производительность землеройного агрегата на их базе, и диапазон расчетных тяговых усилий, внутри которого производительность изменяется незначительно. Это позволяет при выборе передаточных чисел механической части трансмиссии дизель-электрического трактора отказаться от строгого соблюдения оптимальных расчетных тяговых усилий, например, в пользу снижения нагруженности агрегатов электротрансмиссии, снижения массогабаритных показателей электромашин, повышения вероятности работы электропривода в заданном диапазоне характеристик с высокими значениями к.п.д., повышения степени унификации и т. д.

4. Разработанная методика выбора параметров механической части автоматической трансмиссии тракторного агрегата позволяет подобрать к конкретному ДВС со своими выходными характеристиками двухмашинный электропривод трактора с заранее известными нагружающими и преобразующими характеристиками с одновременным выбором передаточного числа механической части трансмиссии таким образом, чтобы обеспечивалось получение максимальной технической производительности землеройного агрегата при выполнении им оптимального технологического процесса.

5. Для промышленного дизель-электрического трактора ДЭТ-250М2 предложено установить согласующий редуктор привода силового генератора с передаточным отношением $i_{\bar{n}\delta} = 0,636$, что при соответствующей корректировке передаточного числа механической части трансмиссии с попаданием в оптимальный диапазон значений тяговых усилий ($i_{\delta\delta}^{\min} \dots i_{\delta\delta}^{\max} = 60 \dots 90$), ведет к росту технической производительности бульдозерного агрегата на его базе на 8 %. При изменении параметров трансмиссии трактора ДЭТ-250М2 в диапазонах $i_{\bar{n}\delta}^{\min} \dots i_{\bar{n}\delta}^{\max} = 0,580 \dots 0,675$, $i_{\delta\delta}^{\min} \dots i_{\delta\delta}^{\max} = 60 \dots 90$ производительность бульдозерного агрегата на его базе снижается от максимального значения не более чем на 2 %.

6. Модернизация промышленного дизель-электрического трактора ДЭТ-320 путем применения в его составе дизельного двигателя ЯМЗ-7511.10-18, рационального совмещения его характеристик с нагружающими характеристиками электромеханической трансмиссии с установкой согласующего редуктора привода силового генератора с передаточным отношением из диапазона $i_{\bar{n}\delta}^{\min} \dots i_{\bar{n}\delta}^{\max} = 0,70 \dots 0,81$ с одновременной реализацией оптимальных тяговых усилий ($i_{\delta\delta}^{\min} \dots i_{\delta\delta}^{\max} = 64 \dots 90$) позволит повысить техническую производительность бульдозерного агрегата на его базе на 14 % по сравнению с производительностью землеройного агрегата на базе серийного трактора ДЭТ-250М2.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах

1. Бондарь, В.Н. Испытания бульдозерно-рыхлительного агрегата на базе трактора ДЭТ-320 / В.Н. Бондарь, Г.П. Мицын, А.Е. Новосельский // Строительные и дорожные машины. – 2005. – № 11. – С. 12–15.
2. Бондарь, В.Н. Обобщенная схема двухпоточного электромеханического редуктора / В.Н. Бондарь, С.В. Кондаков, А.Е. Новосельский // Наука и технологии. Труды XXV Российской школы и XXXV Уральского семинара, посвященных 60-летию Победы. – 2005. – С. 394 – 399.
3. Новосельский, А.Е. Анализ показателей двигателя, применяемого на промышленном дизель-электрическом тракторе / А.Е. Новосельский, Г.М. Изгарев // Вестник ЧГАУ. – 2006. – Т. 48. – С. 98–102.
4. Бондарь, В.Н. Эксплуатационные показатели бульдозерно-рыхлительного агрегата на базе трактора ДЭТ-320 / В.Н. Бондарь, С.В. Кондаков, А.Е. Новосельский // Конструирование и эксплуатация наземных транспортных машин: сб. науч. тр. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2006. – С. 16–25.
5. Бондарь, В.Н. Рациональное совмещение характеристик двигателя внутреннего сгорания и электрического привода постоянного тока промышленного трактора / В.Н. Бондарь, С.В. Кондаков, А.Е. Новосельский // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». – 2006. – Вып. 8. – № 11(66). – С. 85–90.
6. Новосельский, А.Е. Электромеханическая трансмиссия промышленного гусеничного трактора / А.Е. Новосельский // Автотранспортный комплекс – проблемы и перспективы, экологическая безопасность: сб. науч. тр. – Пермь: Изд-во ПГТУ, 2007. – С. 229–236.
7. Пат. 64144 Российская федерация, МПК⁷ В 60 К. Электромеханическая трансмиссия гусеничного трактора / А.Е. Новосельский, В.Н. Бондарь, С.В. Кондаков – № 2007108403/22; заявл. 05.03.2007; опубл. 27.06.2007, Бюл. № 18. – 2 с.
8. Кондаков, С.В. Совмещение характеристик двигателя внутреннего сгорания и электротрансмиссии промышленного трактора / С.В. Кондаков, А.Е. Новосельский // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». – 2008. – Вып. 12. – № 23(123). – С. 40–45.

Новосельский Алексей Евгеньевич

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОМЫШЛЕННОГО ТРАКТОРНОГО
АГРЕГАТА С АВТОМАТИЧЕСКОЙ ТРАНСМИССИЕЙ ПУТЁМ
РАЦИОНАЛЬНОГО ВЫБОРА ЕЁ ПАРАМЕТРОВ

Специальность 05.05.03 – «Колесные и гусеничные машины»

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Издательство Южно-Уральского государственного
университета

Подписано в печать . Формат 60x84 1/16. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 1,09. Уч.-изд. л. 1. Тираж 100 экз. Заказ .

УОП Издательства. 454080, г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76.