

ХАРЬКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНИЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи

ЕРМАКОВА Елена Анатольевна

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА НАПОЛНЕНИЯ КОВША СКРЕПЕРА
ПРИМЕНЕНИЕМ ГРУНТОНАПРАВЛЯЮЩЕГО АППАРАТА

05.05.04 - машины для земляных и
дорожных работ

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Харьков, 1996

АВ 34.293

Диссертация представлена в виде рукописи

Работа выполнена на кафедре строительных и дорожных машин Харьковского государственного автомобильно-дорожного технического университета (ХГАДТУ)

Научный руководитель: Академик транспортной академии и академии строительства Украины, доктор технических наук, профессор Ничке Вильгельм Вильгельмович

Научный консультант: кандидат технических наук, доцент Емельянов Владимир Петрович

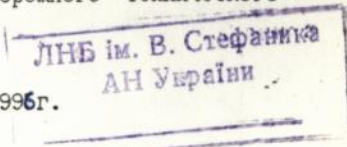
Официальные оппоненты: Заслуженный изобретатель Украины Академик академии строительства Украины, доктор технических наук, профессор Хмара Леонид Андреевич, кандидат технических наук, доцент Скибицкий Александр Петрович

Ведущая организация: ОАО "Дормаш" г. Бердянск

Защита состоится ²⁴10.04.1996г. в 10⁰⁰ час на заседании специализированного ученого совета Д 02.17.02 Харьковского государственного автомобильно-дорожного технического университета по адресу: 310078, г. Харьков, ул. Петровского, 25.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Харьковского государственного автомобильно-дорожного технического университета

Автореферат разослан "06" 03 1996г.



Ученый секретарь специализированного ученого совета, доктор технических наук, доцент Подригало М.А.

ЛНБ України ім. В. Стефаніка



00740420 (H)

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В строительном и дорожном машиностроении, как в дальнем зарубежье, так и в странах СНГ, значительную долю составляют машины для земляных работ. Как показывает мировая практика, в последние десятилетия наблюдается повышение объемов производства этих машин. В частности, расширились типоразмерные ряды скреперов, выпуск скреперов с различного рода интенсификаторами превысил выпуск традиционных конструкций машин (в США соотношение выпуска самоходных скреперов с элеваторной загрузкой достигало 60% общего выпуска машин). Ведущие фирмы мирового сообщества (Катерпиллар, Комацу и др.) выпускали малые серии машин с другими видами загрузочных устройств. Хотя, как свидетельствуют данные аналитиков фирмы Комацу, выпуск скреперов в последние годы снизился, по прогнозным оценкам ожидается восстановление и даже повышение объемов выпуска самоходных скреперов.

Повышение эффективности скреперов, снижение материалоемкости и энергоемкости, повышение надежности является особо актуальной задачей для вновь создаваемого строительного и дорожного машиностроения Украины. На территории Украины имеется лишь Бердянский завод "Дормаш", ОАО "Дормаш", выпускающий главным образом скрепер ДЗ-87-1 полуприцепной к колесному трактору Т-150К вместимостью ковша 5 м^3 . В связи с модернизацией трактора, повышением его тягового усилия открываются возможности существенного повышения вместимости ковша скрепера, повышения эффективности применением различного рода интенсификаторов процесса, новых способов воздействия на грунт в процессе отделения стружки от массива, процесса заполнения ковша.

Объект и общая методология исследований. Изложенное обуславливает необходимость решения проблемы повышения эффективности скреперов (повышения производительности, надежности, снижения материалоемкости, энергоемкости). Разработка этой проблемы требует решения ряда задач: создания математических моделей рабочего процесса скрепера на основе анализа взаимодействия ковша с грунтом; определения влияния различных параметров подсистем грунт-рабочий орган-базовая машина-оператор на формирование процесса копания; определения критических значений параметров, при которых изменяется физическая картина рабочего процесса; определения характера внешних силовых воздействий на машину.

Цель работы. Разработка научной базы повышения эффективности новым методом наполнения ковша с использованием грунтонаправляющего аппарата (ГНА), заключающимся в снижении сопротивлений трения в процессе наполнения, установлении сравнительно постоянных тягового усилия и глубины резания на большей части пути наполнения.

Задачи работы. Развитие и углубление теории взаимодействия рабочих органов землеройно-транспортных машин с грунтом, определение на этой базе рабочих сопротивлений, возможностей их снижения, интенсификации рабочего процесса. Определение силовых воздействий на рабочее оборудование, установление на стадии проектирования режимов нагружения машины. Разработка конструкций грунтонаправляющих аппаратов.

Научная новизна. Разработан способ наполнения ковша через направляющий аппарат и техническое решение конструкции скрепера с ГНА, новизна которого подтверждена положительным решением по заявке на авторское свидетельство. Получены аналитические зависимости для определения сопротивлений при на-

боре грунта с различными видами ГНА, определения характеристик процесса разрушения грунта ножом скрепера. Анализ процесса резания грунта и наполнения ковша производился с использованием методов, предполагающих установление непосредственной зависимости характеристик рабочего процесса скрепера от физико-механических свойств грунта, параметров рабочего органа, характеристик машины в детерминистской постановке. Последующий учет случайного характера величин и процессов возможен физико-статистическими методами, а аналитическими и экспериментальными исследованиями показаны преимущества предложенного способа наполнения ковша, возможности повышения производительности, надежности.

Достоверность. Достоверность научных положений обеспечивается необходимым объемом сравнительных экспериментов, выполненных на моделях в грунтовом канале; применением планирования экспериментов и статистической обработки результатов; сравнением с результатами полевых испытаний, выполненных на кафедре СДМ ХГАДТУ; сопоставлением и удовлетворительной сходимостью результатов теоретических и экспериментальных исследований.

Практическая ценность. Разработана новая конструкция ковша с грунтонаправляющим аппаратом, реализующая способ наполнения через направляющее устройство. В соответствии с разработанной методикой тягового расчета составлены программы, позволяющие моделировать на ПЭВМ процесс наполнения ковша скреперами с ГНА. Даны рекомендации по определению рациональных параметров ГНА.

Реализация работы. Создан экспериментальный образец скрепера с ГНА на базе скрепера ДЗ-172 в ПМК-50 Харьковского треста "Водстрой". С использованием выводов и рекомендаций,

полученных в данной работе, изготовлены чертежи ковша скрепера с ГНА увеличенной вместимости (до 8 м^3), которые переданы ПО "Иждормаш". Результаты работы используются в учебном процессе при курсовом и дипломном проектировании, в курсе "Повышение эффективности СДМ" (специальность 7.090.214).

Апробация работы. Диссертационная работа докладывалась и обсуждалась на заседаниях кафедр строительных и дорожных машин ХГАДТУ, ПГАСА. Результаты исследований докладывались на научно-технических конференциях ХГАДТУ, ПГАСА, международных конференциях в ВИСИ в 1992 и 1994 гг., в Челябинском филиале НАТИ в 1991 г., на международной экологической конференции в г. Кременчуге 1994 г., на международных конференциях в Нижнем Новгороде и С.-Петербурге.

Публикации. По результатам исследований опубликованы 16 печатных работ, написаны два параграфа в монографии, получено положительное решение на изобретение.

Объем работ. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, общих выводов по результатам исследований и приложений. Общий объем работы 157 страниц, в том числе 114 страниц машинописного текста, 15 таблиц, 48 рисунков, список литературы из 104 наименований и 3 приложения на 13 страницах.

На защиту выносятся. Новый способ заполнения ковша через грунтонаправляющее устройство; математические модели процесса наполнения базовых форм ГНА; математические модели силовых воздействий, вызванных влиянием скорости движения машины на процесс наполнения; математические модели разрушения грунта ножами скрепера с ГНА; результаты аналитических и экспериментальных исследований скреперов с ГНА.

Тема диссертации соответствует научному направлению работы кафедры строительных и дорожных машин ХГАДТУ по приори-

тетному направлению науки и техники "Ресурсосбережение", региональной программе научных работ Северо-Восточного центра Транспортной Академии Украины "Совершенствование конструкций строительных и дорожных машин, выпускаемых заводами Украины", программе научно-исследовательских работ кафедры "Разработка методов создания и испытаний строительных и дорожных машин модульной конструкции с повышенными эксплуатационными качествами".

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1. ОБЗОР И АНАЛИЗ ИССЛЕДОВАНИИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ЭТМ С ГРУНТОМ И ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ЗАПОЛНЕНИЯ КОВША СКРЕПЕРА

В наше время, как никогда ранее, необходимо снижение энергоемкости процессов, снижение металлоемкости, упрощение конструкций с одновременным повышением требований к надежности. Поэтому сейчас так важно глубокое изучение рабочих процессов машин, в частности ЭТМ, определение возможностей снижения энергоемкости разработки и транспортировки грунта.

Ведущая роль в исследовании и совершенствовании рабочих процессов строительных и дорожных машин принадлежит ученым стран СНГ. основополагающими являлись работы академика В.П. Горячкина по резанию почв плугами. Крупный вклад в исследование процессов резания и копания грунта, совершенствование конструкций машин для земляных работ и методов их расчета внесли В.Д. Абезгауз, И.Я. Айзеншток, Т.В. Алексева, В.А. Амельченко, А.И. Анохин, К.А. Артемьев, В.Л. Баладинский, В.И. Баловнев, Б.А. Бондарович, И.П. Бородачев, В.С. Бочаров, Ю.А. Ветров, Д.П. Волков, М.И. Гальперин, Н.Г. Гаркави, Н.Г. Домбровский, А.Н. Зеленин, Р.А. Кашаев,

И.П. Керов, Е.М. Кудрявцев, Э.Н. Кузин, А.П. Кулемов, А.Г. Маевский, Е.Ю. Малиновский, И.А. Недорезов, П.И. Никулин, В.В. Ничке, В.К. Руднев, А.И. Сологуб, В.Н. Тарасов, Н.А. Ульянов, Д.И. Федоров, П.В. Фролов, Н.А. Хархута, Л.А. Хмара, А.М. Холодов, В.А. Черкасов, И.Я. Янцен.

Совершенствованию формы ковша и его режущих элементов посвящены работы И.А. Барсукова, В.П. Виниченко, А.И. Демиденко, В.А. Кацина, В.В. Мелашича, Ю.А. Попова. Работы по исследованию эффективности применения активных грунтоперемещающих устройств внутри ковша были проведены Н.В. Бариновым, Н.А. Долгушиным, Н.И. Кизряковым, А.В. Матвеевым, О.Н. Сивковой. Применению газовой смазки ковша скрепера посвящены работы А.Б. Ермилова и И.Г. Кириченко.

Полученные на основе анализа процесса наполнения ковша скрепера технические решения, направленные на повышение эффективности работы ковша скрепера, можно представить четырьмя группами в зависимости от вида элемента конструкции ковша, который совершенствуется: решения по совершенствованию режущих элементов, конструкции и формы ковша, заслонки, снижения сопротивлений наполнению. Решения всех групп направлены на снижение энергоемкости составляющих процесса - отделения грунта от массива, перемещения его в ковше, а также перед заслонкой. Это, в конечном счете, приводит к увеличению объема грунта в ковше и, следовательно, повышению производительности скрепера. Однако наиболее эффективными являются решения четвертой группы - введение в конструкцию ковша грунтонаправляющих или грунтотранспортных устройств.

Исследованиями, проведенными во ВНИИстройдормаше, СибАДИ, МАДИ, ДИСИ, ХАДИ, получены данные об эффективности установки в ковше скрепера различных видов этих устройств. Анализ ре-

зультатов проведенных исследований позволяет утверждать, что одним из перспективных направлений является применение грунтонаправляющих аппаратов (ГНА).

Исследования рабочего процесса скреперов с ГНА позволили получить данные, указывающие на их эффективность, определить рациональные значения некоторых параметров ГНА. Однако необходимо более глубокое изучение рабочего процесса наполнения ковша с ГНА, определения характеристик процесса в зависимости от конструктивных параметров ковша, ГНА, грунтовых условий работы скрепера, рабочей скорости машины.

На основе вышеизложенного в диссертационной работе поставлены следующие задачи:

- разработка математической модели процесса наполнения ковша скрепера с ГНА, определение рациональных параметров ГНА;
- создание принципиальной схемы и конструкции скрепера с ГНА;
- исследование возможности повышения скорости копания грунта скрепером с ГНА, определение влияния скорости на характеристики процесса;
- теоретические и экспериментальные исследования влияния высоты ГНА, высоты наполнения ковша на величину сопротивления на режущем органе скрепера;
- исследование влияния ГНА на амплитуды и частоты нагружения скрепера и, следовательно, на характеристики режима нагружения и надежности машины;
- установление эффективности применения ГНА в скрепере.

2. ИССЛЕДОВАНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ НАПОЛНЕНИЮ КОВША СКРЕПЕРА

Проведен анализ грунтовых условий работы скрепера в Украине и на территории стран СНГ, приведены данные по вероят-

ности выполнения скреперами различных видов работ, дальности транспортировки грунта. Приведены характеристики расчетного "среднего" грунта для скреперных работ.

Рассмотрены математические модели процесса наполнения ковша скрепера. В настоящее время наибольшее распространение получила схема Е.Р.Петерса - В.И.Баловнева - А.Н.Холодова, согласно которой в конце наполнения ковша грунт поднимается вертикально, призмой с основанием $a * b$, где a - толщина пласта, b - ширина ножа скрепера с высотой H , равной высоте ковша. Размер a принимается авторами различных схем равным от $a = h$, где h - глубина копания, до $a = l \cos\alpha + h \operatorname{ctg}\phi$, где l - длина ножа, α и ϕ - углы резания и сдвига грунта.

Опыты, проведенные в ХАДИ, показали, что реально грунт движется в виде потока с расходящимися кверху границами между неподвижной и подвижной зонами грунта в ковше.

В средних грунтовых условиях угол β отклонения границ от вертикали составляет около 10° , возможно отклонение оси потока на $10-12^\circ$ от вертикали в сторону ковша. Тогда передняя граница практически вертикальна, а задняя - наклонена назад на $18-22^\circ$.

Математические модели сопротивления наполнению W_H представляются в виде:

- для случая движения грунта вертикально с углами β отклонения границ между неподвижной и подвижной зонами:

$$W_H = kVH^2\gamma_p \left[\frac{\operatorname{tg}\beta}{2} + \frac{\cos(\rho-\beta)\operatorname{Sin}\rho}{\cos\beta} + \frac{a}{kH} \right]; \quad (1)$$

- для случая движения грунта с отклонением оси потока α_0 , отклонением задней границы между неподвижной и подвижной зонами β и передней границей, расположенной вертикально:

$$W_H = k\gamma_H^2 \gamma_p \left[\frac{\cos(\rho - \alpha_0 - \beta) \sin \rho \cos \rho}{\cos^2(\alpha_0 + \beta)} + \frac{b}{kH \cos \alpha_0} + \frac{\operatorname{tg}(\alpha_0 + \beta) - \operatorname{tg}(\alpha_0 - \beta)}{k \cos \alpha_0} \right], \quad (2)$$

где γ_p - плотность рыхлого грунта; k - коэффициент, учитывающий трение грунта о боковые стенки ковша.

Анализ зависимостей (1) и (2) показал, что существенное снижение W_H можно получить, если исключить боковое давление от призм сползания грунта, уменьшить коэффициент трения между подвижной зоной и неподвижным грунтом ковша. Это можно достигнуть разделением подвижной и неподвижной зон жесткими стенками, образующими грунтонаправляющий аппарат (ГНА).

Рассматривая равновесие элементарного объема грунта высотой dy в ГНА высотой $H_{\text{ГНА}}$, шириной b в нижней его части, углами отклонения плоских стенок β_1 - передней и β_2 - задней, вертикальной центральной осью потока, получим систему уравнений

$$\Sigma x = N_1 (\cos \beta_1 + f \sin \beta_1) - N_2 (\cos \beta_2 + f \sin \beta_2) = 0, \quad (3)$$

$$\Sigma y = -N_1 (\sin \beta_1 - f \cos \beta_1) - N_2 (\sin \beta_2 - f \cos \beta_2) + \sigma(F + dF) - (\sigma + d\sigma)F + G = 0.$$

Здесь N_1, N_2 - соответственно нормальные усилия на передней и задней стенке; f - коэффициент трения грунта по металлу; σ - напряжение в сечении площадью F , перпендикулярной к вертикальной оси потока; G - вес элементарного объема грунта. Выразив N_1 и N_2 через коэффициент бокового давления ϵ в виде:

$$N_1 = \frac{\epsilon B \sigma dy}{\cos \beta_1 + f \sin \beta_1}, \quad (4)$$

определим величину напряжения σ зависимостью

$$\sigma = \frac{C_0}{K_A} e^{K_A y} - \frac{\gamma}{K_A}. \quad (5)$$

Исходя из граничных условий, что напряжение σ в верхнем обресе (т.е. при $y = 0$) ГНА равны напряжениям от вышележащих слоев грунта $\sigma_{\text{ВЫХ}}$, получим постоянную интегрирования

$$C_0 = \sigma_{\text{ВЫХ}} K_A + \gamma. \quad (6)$$

Тогда зависимость для определения напряжения σ получит вид

$$\sigma = \frac{\sigma_{\text{ВЫХ}} K_A + \gamma}{K_A} e^{K_A y} - \frac{\gamma}{K_A} = \frac{\gamma}{K_A} \left[\left[\frac{\sigma_{\text{ВЫХ}} K_A}{\gamma} + 1 \right] e^{K_A y} - 1 \right]. \quad (7)$$

На первом этапе наполнения, когда уровень грунта в ковше не выше уровня ГНА, $\sigma_{\text{ВЫХ}} = 0$ и тогда $C_0 = \gamma$.

$$\sigma = \frac{\gamma}{K_A} (e^{K_A y} - 1). \quad (8)$$

На втором этапе, когда уровень грунта в ковше $h > h_{\text{НА}}$, $\sigma_{\text{ВЫХ}}$ определяется зависимостью

$$\sigma_{\text{ВЫХ}} = \gamma (h - h_{\text{НА}}) + \frac{\gamma (h - h_{\text{НА}})^2 \sin \rho \cos \rho}{b + h_{\text{НА}} (\operatorname{tg} \beta_1 + \operatorname{tg} \beta_2)}. \quad (9)$$

Напряжения в нижнем обресе ГНА определяются формулой

$$\sigma_{\text{Н}} = \frac{\gamma}{K_A} \left[\left[\frac{\sigma_{\text{ВЫХ}} K_A}{\gamma} + 1 \right] e^{K_A h_{\text{НА}}} - 1 \right]. \quad (10)$$

Сопротивление наполнению равно

$$W_{\text{Н}} = \sigma_{\text{Н}} B b = \left[\left[\frac{\sigma_{\text{ВЫХ}} K_A}{\gamma} + 1 \right] e^{K_A h_{\text{НА}}} - 1 \right] \frac{\gamma B b}{K_A}. \quad (11)$$

Коэффициент K_A определяется зависимостью

$$K_A = \frac{B b}{F_{\text{CP}}} (A \varepsilon + \operatorname{tg} \beta_1 + \operatorname{tg} \beta_2),$$

$$\text{где } A = \frac{f \cos \beta_1 - \sin \beta_1}{\cos \beta_1 + f \sin \beta_1} + \frac{f \cos \beta_2 - \sin \beta_2}{\cos \beta_2 + f \sin \beta_2}.$$

Работа по заполнению ковша представляется суммой работ при заполнении ковша на высоту $h_{\text{НА}}$ и при заполнении ковша от

$H_{на}$ до уровня H . На первом этапе действуют постоянные напряжения на входе в ГНА $\sigma = \sigma_{H1}$, на втором они изменяются от σ_{H1} до σ_{H2} в конце наполнения. На первом этапе ковш наполняется до некоторого объема $V_{на}$, определяемого высотой ГНА, на втором объем грунта составит величину $V_K K_H - V_{на}$, где V_K - вместимость ковша, K_H - коэффициент наполнения. Полная работа по заполнению ковша определится выражением

$$A_H = \frac{\sigma_{H1}}{2} (V_K K_H + V_{на}) + \frac{\sigma_{H2}}{2} (V_K K_H - V_{на}) . \quad (12)$$

Подставив в зависимость (12) значения σ и V , выраженные через параметры скрепера, полагая, что $\beta_1 = \beta_2 = \beta$, продифференцировав полученное уравнение по $H_{на}$ и приравняв результат нулю, определим $H_{на}$. При этом выразим $H_{на}$ через H - высоту ковша в виде $H_{на} = K_H H$. Тогда

$$f(K_H; H; \beta; \rho; B; b) = \frac{1 + K_\beta}{K_A} e^{-K_A K_H H} , \quad (13)$$

где $K_\beta = 1 + \text{tg}\beta \text{tg}\rho$.

Полученное уравнение в общем виде не решается. Для решения численными или графическими методами при средних грунтовых условиях и трех моделях скреперов ДЗ-87, ДЗ-11, ДЗ-13 получено уравнение

$$5,16 + 12,96K_H - 2,77K_H^2 + 9K_H^3 = 7,745e^{3,06K_H} . \quad (14)$$

Из этого уравнения следует $K_H = 0,5$ и, следовательно,

$$H_{на \text{ опт}} = 0,5H . \quad (15)$$

Для скреперов с ковшами увеличенной длины рекомендуется применение ГНА с криволинейными стенками. Форма кривой может быть различной, однако требования к таким ГНА аналогичны требованиям к ГНА с плоскими стенками.

Анализ различных видов кривых показывает, что эти усло-

вия сравнительно просто достигаются применением спирали Архимеда с различными скоростями движения по лучу a_1 и a_2 .

Рассмотрен вариант ГНА, когда передняя стенка отсутствует. В этом случае поток грунта движется между задней стенкой ГНА и грунтом в заслонке. Сопротивление движению по задней стенке определяется аналогично первому варианту модели сопротивления наполнению. Трение грунта по грунту на границе раздела неподвижной и подвижной зон в передней части потока определяется так же, как и при отсутствии ГНА. При этом для обычных заслонок объем грунта между заслонкой и границей раздела зон мал, чтобы образовать достаточно большую призму сползания. Поэтому боковое нормальное усилие зависит от коэффициента бокового давления ϵ . Рассмотрев равновесие элементарного объема в потоке движущегося грунта, получим систему уравнений, аналогичную системе (3), с решением, аналогичным зависимостям (8), (10). Коэффициент A определяется зависимостью $A = \text{tg}(\rho - \beta_1) + \text{tg}(\delta - \beta_2)$, а сопротивление наполнению

$$w_H = \frac{\gamma B b}{K_A} \left[\left[\frac{\sigma_{\text{ВЫХ}} K_A}{\gamma} + 1 \right] e^{K_A H_{\text{на}}} - 1 \right]. \quad (16)$$

В случае ГНА с комбинированными стенками, т.е. криволинейная и прямолинейная части в пластине, разновысокие пластины и т.д., решения определяются отдельно по участкам и сопротивления каждого последующего участка являются исходными (сопротивлениями на выходе) для предыдущего.

3. ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ НА ПРОЦЕСС НАПОЛНЕНИЯ КОВША СКРЕПЕРА

Исследованиями, проведенными в ХАДИ, показано, что толщина грунтового потока в районе ножа с увеличением скорости уменьшается

$$a = a_0 - \frac{V_M h \sin \alpha}{\sin(\alpha + \psi)} \sqrt{\frac{\gamma}{\tau_0}} (\operatorname{ctg} \psi + \operatorname{ctg} \alpha), \quad (17)$$

где $a_0 = h \operatorname{ctg} \psi + l \operatorname{Cosa}$; γ - объемная масса грунта в массиве; τ_0 - предельное касательное напряжение при скорости копания, близкой к нулю.

Тогда ширина b зева ГНА должна быть не менее величины a .

Грунтовый поток в традиционной конструкции ковша скрепера воздействует на находящиеся выше слои грунта, т.е. оказывает на грунт динамическое давление с усилием D , обусловленное кинетической энергией потока (скоростной напор). Вследствие снижения скорости грунта в потоке (расширение подвижной зоны грунта) от максимальных значений в зоне ножа до минимальных в верхних слоях, возникает дополнительное усилие Q_D (динамический напор). Суммарное полезное усилие $\Phi = D + Q_D$ способствует наполнению ковша.

Если грунтовый поток в ГНА движется в направлении, близком к вертикали, сопротивление резанию и наполнению ковша определится зависимостью

$$w = \frac{(W_H - \Phi) \sin(\rho + \psi) + (T + F) \operatorname{Cosp}}{\operatorname{ctg}(\alpha + \delta) + \operatorname{ctg}(\rho + \psi)}, \quad (18)$$

где T - сопротивление сдвигу в плоскости сдвига; F_H - инерционное сопротивление, т.е. усилие, необходимое для выведения грунта из состояния покоя и разгона до некоторой скорости.

Усилие F_H определяется из закона количества движения.

При движении в ГНА скорость движения изменяется, уменьшаясь от скорости на входе в ГНА $V_{\text{по}}$ до скорости на выходе $V_{\text{пв}}$. Динамическое давление грунта, поступающего в ГНА, на грунт, там находящийся, определяется по формуле Бернулли для давления потока на стенку, перпендикулярную направлению дви-

жения потока. Тогда скоростной напор определится выражением

$$D = B\gamma \frac{K_p^2 K_\Pi^2}{\rho} \frac{h^2 v^2}{b} \quad (19)$$

Инерционную силу, возникающую при торможении грунта в ГНА, определяем из уравнения Лагранжа 2 рода для голономных систем

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_0} - \frac{\partial T}{\partial q_0} = Q_0 \quad (20)$$

где T - кинетическая энергия системы; Q_0 - обобщенная сила; q_0 - обобщенная координата.

Из решения уравнения получим величину динамического напора в виде

$$Q_D = 2Bb\gamma \frac{K_p^2 K_\Pi^2 h^2 v^2}{(b+ax)^2}, \text{ где } a = \operatorname{tg}\beta_1 + \operatorname{tg}\beta_2 \quad (21)$$

Суммарный напор грунта в ГНА получим из выражений (19) и (21).

$$\Phi = Bb\gamma v_M^2 h^2 K_p^2 K_\Pi^2 \left[\frac{1}{b} + \frac{2}{(b+ax)^2} \right] \quad (22)$$

При скорости $v_M > 1 \text{ м/с}$ и глубинах $h > 10 \text{ см}$ величина суммарного напора достигает 15% и более от сопротивления наполнению и сравнима по величине с сопротивлением F_H . Для ГНА с вертикальной осью потока грунта с учетом напора сопротивление резанию и наполнению выражается в виде

$$W_\Gamma = \frac{cBh \left[1 + \frac{\operatorname{ctg}\psi}{\operatorname{tg}(\rho+\psi)} \right] + Bb\gamma_p K_A^{-1} \left[(\sigma_{\text{вых}} K_A / \gamma_p + 1) e^{K_A H_{\text{на}}} - 1 \right]}{\operatorname{ctg}(\alpha+\delta) + \operatorname{ctg}(\rho+\psi)} + \quad (23)$$

$$+ \frac{v_M^2 Bb\gamma \left\{ \frac{\sin\alpha}{\sin(\alpha+\psi)} \left[\sin\psi + \frac{\cos\psi}{\operatorname{tg}(\rho+\psi)} \right] - BbK_p^2 K_\Pi^2 \left[\frac{1}{b^2} + \frac{2}{(b+H_{\text{на}} \operatorname{tg}\beta)^2} \right] \right\}}{\operatorname{ctg}(\alpha+\delta) + \operatorname{ctg}(\rho+\psi)}$$

Оптимальное значение скорости скрепера, обеспечивающее максимальную производительность машины, найдем, используя

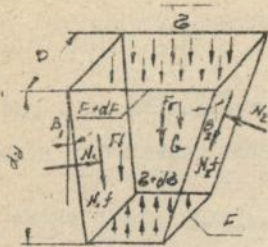


Рис. 1.

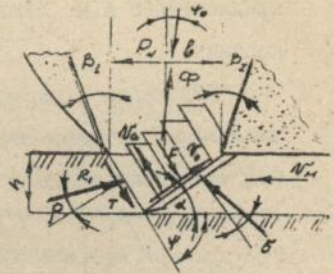


Рис. 2.

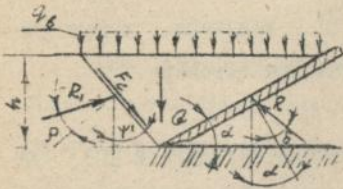


Рис. 3 а.

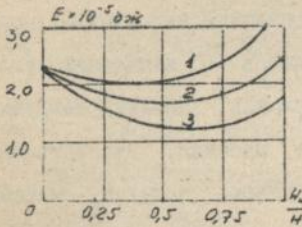


Рис. 4.

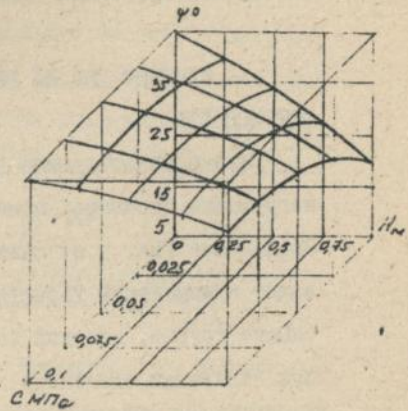


Рис. 3 б.

Рис. 1. Расчетная схема ГНА с плоскими стенками.

Рис. 2. Расчетная схема формирования силовых факторов в ГНА.

Рис. 3. Расчетная схема изменения угла сдвига (а) и график зависимости ψ от величины сцепления C и высоты наполнения H (б).

Рис. 4. График зависимости энергоемкости разработки грунта от соотношения высот ГНА и ковша скрепера и угла внешнего трения δ (1-35; 2-25; 3-15).

предложенное А.М. Холодовым понятие производительности по копанью.

Подставив в выражение для производительности все составляющие, продифференцировав и приравняв результат нулю, получим оптимальную скорость

$$V_{\text{опт}} = \sqrt{\frac{1}{B'} \left\{ A' + \frac{\gamma_p (f+1)}{1-m} \left[(z+z_{\text{всп}})(1+m) + \frac{V_{\text{к}} K_{\text{н}}}{B_{\text{нк}} P} \right] \right\}}, \quad (24)$$

где $m = V_{\text{гр}}/V_{\text{пор}}$; $V_{\text{гр}}$, $V_{\text{пор}}$ - скорости движения груженого скрепера и порожнего; A' , B' , C' - величины, характеризующие грунтовые условия и параметры скрепера.

4. ВЛИЯНИЕ ГНА НА РЕЖИМ НАГРУЖЕНИЯ СКРЕПЕРА И ЕГО ЭФФЕКТИВНОСТЬ

Как показано ранее проведенными исследованиями, процесс нагружения скрепера можно представить как двухчастотный. Применение ГНА, т.е. снижение сопротивления наполнению, приводит к изменению характеристик процесса - изменению угла сдвига грунта, высокой частоты нагружения, амплитуд нагрузки при отделении элементов стружки от массива. Рассматривая равновесие элемента грунта перед ножом, получим систему уравнений, решив которую определим сопротивление копанью, включающее сопротивление резанию и сопротивление наполнению

$$W_{\text{г}} = \frac{cBh[1+\text{ctg}\phi\text{ctg}(\rho+\phi)] + W_{\text{н}}[\text{Sin}\alpha' - \text{Cos}\alpha'\text{ctg}(\rho+\phi)]}{\text{ctg}(\rho+\phi) + \text{ctg}(\alpha+\delta)}. \quad (25)$$

Исследовав полученное выражение на минимум по ϕ , получим

$$\phi = \text{artg} \left\{ \frac{1}{\varphi(\alpha) + \frac{D_1 W_{\text{н}}}{cBh}} \pm \sqrt{\left[\frac{1}{\varphi(\alpha) + \frac{D_1 W_{\text{н}}}{cBh}} \right]^2 - \frac{1}{\frac{D_2 W_{\text{н}}}{cBh} - 1}} \right\}, \quad (26)$$

где α' - угол наклона оси потока грунта в ковше;

$$D_1 = \text{Sina}' \text{tg} \rho - \text{Cosa}' - (\text{Cosa}' \text{tg} \rho + \text{Sina}') \varphi(\alpha);$$

$$D_2 = \frac{\text{Sina}' \text{tg} \rho - \text{Cosa}'}{\varphi(\alpha)} - \text{Cosa}' \text{tg} \rho - \text{Sina}'; \varphi(\alpha) - \text{tg}(\alpha + \delta + \rho).$$

Таким образом, угол сдвига определяется как характеристиками трения грунта, так и сцеплением, а также глубиной резания и величиной сопротивления наполнению. При $w_H = 0$ формула (26) преобразуется в известное выражение

$$\text{tg} \psi = \frac{\pi}{2} - \frac{\alpha + \delta + \rho}{2}.$$

Сдвиг элемента грунта происходит, когда усилие, необходимое для уплотнения грунта перед ножом в массив, станет равным усилию, достаточному для сдвига. Тогда, представляя процесс отделения грунта от массива рядом последовательных этапов вдавливания - сдвига, определим периодичность процесса.

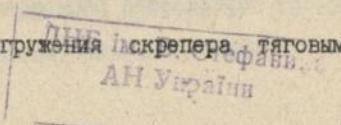
$$\omega_B = V_M \left\{ \frac{BC_D \text{Sin}(\alpha + \delta) \text{Cos}(\alpha + \delta)}{2 + (\mu - 1) \text{Sina}' / \text{Cos}(\alpha + \delta)} \left[\frac{(\text{Sina}')^{\mu + 1}}{\text{Cos} \delta} \right] \right\}^{\frac{1}{\mu + 1}} \cdot \frac{[\text{CBh}[1 + \text{otg} \rho \text{otg}(\rho + \psi)] + w_H [\text{Sina}' - \text{Cosa}' \text{otg}(\rho + \psi)]]}{\text{otg}(\rho + \psi) + \text{otg}(\alpha + \delta)}, \quad (27)$$

где V_M - скорость резания (скорость машины); C_D - динамический коэффициент деформации; μ - показатель, зависящий от влажности грунта.

Амплитуда высокочастотной составляющей нагружения определяется в случае сдвига грунта по всей ширине ножа зависимостью (25).

Низкая частота нагружения определена в зависимости от времени наполнения ковша t_K , т.е. $\omega_H = 1/t_K$. Время наполнения ковша состоит из двух составляющих: времени наполнения до уровня высоты направляющего аппарата t_{K1} и выше этого уровня t_{K2} .

Анализ частот и амплитуд нагружения экскаватора тяговым



усилием при традиционной конструкции и конструкции с ГНА позволяет полагать, что долговечность металлоконструкций скрепера с ГНА существенно повышается.

При изменении частот и амплитуд на 10-20% долговечность в циклах нагружения повышается в среднем на 35%.

Эффективность скрепера с ГНА определяется рядом показателей, которые можно разделить на три группы: определяющие качество, технический уровень разрабатываемой конструкции скрепера, экономические показатели конкурентоспособности.

Анализ показателей, определяющих технический уровень и эффективность скреперов с ГНА, свидетельствует, что при одной и той же мощности и тяговом усилии тягача и средних дальностях транспортировки грунта производительность увеличивается на 20%, материалоемкость снижается на 10%, энергоемкость на 17%, обобщенный показатель энергоемкости и материалоемкости на 25%. Эти показатели существенно повышаются, если конструкция скрепера по соотношениям длины и высоты ковша, его вместимости приспособлены для работы с ГНА. Полученные зависимости позволили связать величину дохода, удельных проведенных затрат от параметров скрепера, условий его эксплуатации.

5. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью экспериментальных исследований являлась проверка разработанных теоретических положений.

При этом решались следующие задачи:

- изучение физической картины наполнения ковша с ГНА, установление характеристик процесса наполнения;
- определение рациональных характеристик ГНА;
- определение силовых характеристик процесса.

Лабораторные исследования процесса наполнения производились в грунтовом канале с моделью ковша скрепера шириной $B = 0,4$ м и $H = 0,6$ м и грунтом, приготовленным исходя из условий приближенного моделирования. Конструкция ковша позволяла изменять глубину резания, высоту ГНА, углы отклонения пластин, ширину зева ГНА. Тяговая станция обеспечивала движение модели ковша со скоростями: $0,138$ м/с, $0,243$ м/с, $0,419$ м/с.

Для регистрации исследуемых характеристик процесса использовались усилитель УТ-8 и осциллограф К 12-22. В ходе экспериментов замерялись следующие величины: глубина копания, скорость движения, высота и углы расхождения грунтонаправляющих пластин, горизонтальная составляющая усилия копания. Перед каждой серией опытов производилась тарировка измерительного тракта и сравнение с первичной тарировкой.

Исследования в полевых условиях проводились на скреперах ДЗ-172, ДЗ-20, агрегатированных с трактором Т-130, с целью проверки результатов экспериментов на моделях.

Обработка данных, полученных в экспериментальных исследованиях, проводилась известными методами математической статистики.

Результаты экспериментов в грунтовом канале показали, что характер изменения сопротивлений копанию и наполнению, энергоемкости процесса в зависимости от конструктивных характеристик, характеристик грунта и процесса копания соответствуют закономерностям, полученным аналитическим путем. Отсюда следует, что разработанные математические модели процесса взаимодействия скрепера с ГНА с грунтом соответствуют действительности, среднее расхождение составляет 10-15%. Данные эксперимента позволяют сделать вывод о достаточно вы-

сокой эффективности предложенного метода снижения сопротивления наполнению.

При одном и том же пути заполнения скрепер с ГНА набирает на 25-30% грунта больше, чем скрепер традиционной конструкции.

ВЫВОДЫ

Проведенный анализ процесса наполнения ковша скреперов позволяет сделать следующие выводы:

1. Грунтонаправляющие аппараты различных видов позволяют существенно снизить сопротивление наполнению ковша и, следовательно, сопротивление копанию грунта ковшом скрепера.

2. Снижение сопротивления наполнению при плоских пластинах с вертикальной или отклоненной назад на угол 10° - 15° центральной осью достигает 25-30%, если высота ГНА составляет около $0,5 H$, а коэффициент внешнего трения находится в пределах принимаемых значений. Если коэффициент внешнего трения может быть снижен до значений, близких к нулю (например, применением газовой смазки), сопротивление наполнению при плоских пластинах определяется лишь весовыми характеристиками столба грунта и снижается в 2,5-3 раза.

3. Грунтовый поток в ГНА продвигается, замедляясь от некоторой начальной скорости до нуля, при этом формируется скоростной напор, обусловленный кинетической энергией потока и динамический напор, образующийся в результате снижения скорости грунта в ГНА.

В результате действия суммарного напора формируется полезное скоростное усилие, способствующее преодолению сопротивления наполнению. Это усилие составляет для современных скоростей и глубин копания до 10-15% от сопротивления напол-

нению и может сравняться с инерционным сопротивлением. С увеличением глубины резания полезное усилие возрастает пропорционально квадрату глубины резания, а скоростное сопротивление пропорционально глубине.

4. Процесс отделения грунта от массива представляется как сдвиговый. Применение ГНА, а следовательно, уменьшение пригрузки на массив, приводит к увеличению угла сдвига ϕ . Из математической модели процесса отделения элемента стружки следует, что величина угла сдвига определяется главным образом отношением сопротивления наполнению W_H к сопротивлению сдвига $c_{Вн}$. С увеличением отношения $W_H/c_{Вн}$ угол сдвига уменьшается. При отсутствии пригрузки в начале процесса наполнения угол сдвига соответствует значению, определенному по формуле Зворыкина, с увеличением $W_H/c_{Вн}$ на последнем этапе заполнения ковша уменьшается до 20-25%.

5. Процесс отделения стружки от массива является циклическим, при этом цикл определяется процессом уплотнение - сдвиг элемента грунта. Путь сдвига определяется характеристиками грунта, глубиной резания, величиной пригрузки на грунт, частота, кроме этого - скоростью копания. Для средних грунтовых условий и скоростей до 1 м/с частота составляет 5 - 10 Гц, амплитуда достигает величины тягового усилия тягача по сцеплению.

6. Применение грунтонаправляющего аппарата снижает усилие копания в зависимости от грунтовых условий на 15-25%. Большие значения снижения характерны для малосвязных грунтов, при копании которых не только снижаются сопротивления наполнению, но и уменьшается объем призмы волочения и, следовательно, сопротивления от перемещения этой призмы. Для средних грунтовых условий наиболее существенное снижение со-

противлений наполнению и, как следствие, сопротивлений копания, наибольший коэффициент наполнения при уменьшении пути наполнения получены для ГНА с высотой, равной половине высоты ковша, с углами отклонения пластин от центральной оси потока $\beta = 20^\circ$ и отклонением центральной оси в ковш на 10° от вертикали. Аналогичные результаты получены для одной задней пластины, наклоненной под углом $30-40^\circ$ к вертикали.

7. Эффективность применения скреперов с ГНА несомненна. Количественная оценка ее, проведенная в соответствии с современными представлениями качества и эффективности, показала существенное повышение характеристик уровня качества. Так, производительность повышается на 20-25%, энергоемкость снижается на 17-20%, материалоемкость - на 10%, долговечность основных составных частей металлоконструкции повышается на 35-40%. Полученные характеристики соответствуют скреперу традиционной конструкции, оборудованному ГНА. При специальном проектировании скрепера с ГНА вместимость ковша увеличивается, эффективность повышается.

8. Экспериментально показана достоверность математических моделей процесса наполнения ковша скрепера, изучена физическая картина процесса наполнения ковша с грунтонаправляющими аппаратами различных видов. В работе приведены результаты аналитических решений, определены энергетические характеристики процесса, повышение производительности, повышение эргономических качеств.

9. Результаты исследований диссертации получили внедрение в учебный процесс, конструкции скреперов с ГНА разработаны в ряде дипломных проектов в широком диапазоне вместимостей ковша. Данные эксперимента показали возможность повышения вместимости ковша на 25-50%. Годовой экономический эф-

фект от использования скрепера с ГНА составляет в зависимости от условий эксплуатации от половины до полной стоимости машины.

К задачам дальнейших исследований следует отнести изучение возможностей снижения трения в ГНА, глубокое изучение процессов наполнения при различных видах направляющих, различных способах установки пластин в ковше.

Основные положения диссертации отражены в следующих работах:

1. Ермакова Е.А. Повышение эффективности скрепера применением криволинейных направляющих потока грунта. Сб. тезисов докладов конференции "Совершенствование подготовки специалистов в области строительства и реконструкции зданий и сооружений", 1991.

2. Ничке В.В., Власенко И.В., Ермакова Е.А. Снижение трения в процессе наполнения ковша скрепера применением грунтонаправляющих аппаратов. Тезисы докладов 5 научно-технической конференции "Триботехника - машиностроению" г.Новгород, 1991.

3. Ничке В.В., Шония Н.М., Власенко И.В., Ермакова Е.А. Влияние способа заполнения ковша на режим нагружения скреперного агрегата. Тезисы докладов Всесоюзной научно-технической конференции "Методы ускоренных стендовых испытаний агрегатов тракторов и с/х машин на надежность" г.Челябинск, 1991.

4. Ничке В.В., Ермакова Е.А., Дмитриева Л.А. Ресурс машины. В книге "Создание и эксплуатация строительных машин при вариационном выборе технических решений". Бунин В.В., Ничке В.В. и др., Киев, УМК, ВО, 1992.

5. Ничке В.В., Ермакова Е.А., Дмитриева Л.А. Методы по-

вышения надежности и эффективности. В книге "Создание и эксплуатация строительных машин при вариационном выборе технических решений". Бунин В.В., Ничке В.В. и др., Киев, УМК, ВО, 1992.

6. Ничке В.В., Ермакова Е.А., Власенко И.В., Шония Н.М. Повышение эффективности скреперов совершенствованием процесса наполнения ковша. Материалы республиканской конференции "Повышение эффективности землеройных машин" Воронеж, 1992.

7. Нічке В.В., Єрмакова О.А., Власенко Ш.В., Шонія Н.М. Застосування ґрунтонапрямого пристрою для зниження робочого опору наповнення скрепера. Зб. "Гідромеліорація та гідротехнічне будівництво", вип. 20, 1993, Львів, с. 105-109.

8. Ничке В.В., Холодов А.М., Ермакова Е.А., Шония Н.М. Анализ направлений совершенствования рабочего процесса скреперов. Сб. тезисов докладов 2-й всероссийской конференции с международным участием "Повышение эффективности землеройных машин" Воронеж, 1994.

9. Ничке В.В., Ермакова Е.А., Антонов Н.А., Власенко И.В. Применение скреперов с постоянной толщиной срезаемой стружки для снятия зараженных слоев грунта. Сб. тезисов докладов международной научно-практической конференции "Актуальные вопросы охраны окружающей среды от антропогенного воздействия" Кременчуг, 1994.

10. Нічке В.В., Єрмакова О.А. Вплив швидкості на процес наповнення ковша скрепера. "Інтенсифікація будівництва" Зб. наукових праць за ред. проф. Хмари Л.А. К, ISDO, 1994, 312с.

11. Ничке В.В., Антонов Н.А., Ермакова Е.А., Рыбалко И.В. Взаимодействие ножей землеройно-транспортных машин с грунтом. Сб. докладов международной научно-технической конференции "Строительные и дорожные машины и их использование

в современных условиях", Санкт-Петербург, 1995.

12. Ничке В.В., Антонов Н.А., Ермакова Е.А., Шония Н.М. Влияние характеристик рабочего процесса на надежность землеройно-транспортных машин. Тезисы докладов и сообщений международной научно-технической конференции "Повышение эффективности проектирования испытаний и эксплуатации двигателей, автомобилей, вездеходных специальных строительных и дорожных машин" Нижний Новгород, 1994.

13. Ничке В.В., Антонов Н.А., Ермакова Е.А. Основы теории взаимодействия режущих органов землеройно-транспортных машин с грунтом (плоская задача). Сб. научных праць Харківського державного політехнічного університету (Кременчуцька філія) 1995, с. 48-53.

14. Ничке В.В., Антонов Н.А., Ермакова Е.А., Власенко И.В., Хамза Самир. Совершенствование процесса наполнения ковша скрепера применением направляющих аппаратов. Сб. докладов международной научно-технической конференции "Строительные и дорожные машины и их использование в современных условиях". Санкт-Петербург, 1995.

15. Ничке В.В., Антонов Н.А., Ермакова Е.А. Основы теории взаимодействия режущих органов землеройно-транспортных машин с грунтом. Сб. трудов ХГАДТУ №1 г.Харькова, 1995 г.

16. Положительное решение на изобретение № 4926434/03. Ковш скрепера. 1991г. Власенко И.В., Ермакова Е.А., Захаров В.И., Ничке В.В., Яблуневский В.С.

Срмакова О.А. Удосконалення процесу наповнення ковша скрепера застосуванням ґрунтонапрямого апарату.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук з спеціальності 05.05.04 - машини для земляних і дорожніх робіт. Харківський державний автомобільно-дорожній технічний університет, Харків, 1995р.

Захищається робота, яка містить в собі теоретичні дослідження процесу наповнення ковша скрепера ґрунтом з застосуванням ґрунтонапрямого апарату (ГНА), а також результати експериментальних досліджень, виконаних методами математичного і фізичного моделювання.

Показано, що застосування ГНА дає можливість суттєво зменшити опір тертя на межі рухомої і нерухомої зон ґрунту в ковші. Це дозволяє при одній і тій же потужності двигуна трактора копати ґрунт з більшою швидкістю.

Зменшення опору наповнення впливає також на характер стружкотворення: змінює кут площини зсуву, відстань між зсувами, амплітуду опору зсуву. В роботі одержані математичні моделі, які визначають вказані характеристики процесу копання.

Аналіз процесу копання ґрунту скрепером з ГНА показав, що основні техніко-економічні показники машини підвищуються - продуктивність в 1,2-1,25 рази, довговічність в 1,3 рази, енергоємність зменшується на 15-20%, металоємність на 20%.

Ключові слова: скрепер, ґрунтонапрямний апарат, швидкість, тягове зусилля, ефективність.

Ermakova E.A. "The perfection of process of filling burcket scraper by application soil track of apparatus".

Dissertation for an academic degree of Candidate of Sciences on specialities 05.05.04 - machines for excavation and road work. The Kharkov state automobile-road technical university, Kharkov, 1995.

The work, is protected which contains the theoretical researches of process of filling of scraper burcket by ground by application soil track apparatus (STA), as well as results of experimental researches, executed by methods by of mathematical and physical simulation.

Is shown, that the application STA enables considerably to lower the resistance to friction on beyond the scope of (border) of mobile and stationary zones of ground in the burcket. It permits at one and also the capacities of motor tractor to dig the ground with greater speed.

The reduction of resistance to filling influences also on nature formation of the shaving, changes the angle (corner) of area of shift, distance between shifts, amplitude of resistance to shift. Work receives the mathematical models, which define (determine) the mentioned characteristics of digging process.

The analysis of digging process of ground a scraper with STA has shown, that principal the technological parameters of machine are increased - productivity in 1,2-1,25 times, durability in 1,3 times, power consumption decreases on 15-20 %, metal consumption on 20 %.

The key words: scraper, soil track apparatus,

The speed, traction effort, efficiency.

Ермакова Е.А. Совершенствование процесса наполнения ковша скрепера применением грунтонаправляющего аппарата.

Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук.: Харьков, 1996.

Декларация личного вклада к опубликованным работам
в соавторстве.

Тп/п	Поз.сп.	Личный вклад по содержанию	Вклад, %
1.	1.	Повышение эффективности скрепера применением криволинейных направляющих потока грунта.	100%
2.	2.	Определены усилия трения в ГНА.	35%
3.	3.	Определены сопротивления наполнению ковша с ГНА.	25%
4.	4.	Определен угол сдвига и высокие частоты нагружения.	40%
5.	5.	Рассмотрена схема ГНА с плоскими стенками.	40%
6.	6.	Рассмотрена базовая конструкция ГНА.	30%
7.	7.	Определены сопротивления трению на пластинах ГНА.	30%
8.	8.	Рассмотрены скреперы с пассивными интенсификаторами.	20%
9.	9.	Определены сопротивления наполнению скрепера с ГНА.	20%
10.	10.	Определен динамический напор в ГНА.	50%
11.	11.	Определены пригрузки на грунт.	20%
12.	12.	Определена интенсивность возрастания сопротивлений.	25%
13.	13.	Изучено резание грунтов с пригрузкой на дневной поверхности.	30%
14.	14.	Проведен анализ процесса движения грунта в ГНА.	25%
15.	15.	Рассмотрено резание с пригрузкой на дневной поверхности.	30%
16.	16.	Предложено шарнирное соединение плит ГНА с ковшом, упор в ковше.	15%

Підписано до друку 28.02.96
Формат 60 x 84. друк. офсетний.
Обсяг 1,0 др.а.
Тираж 100 прим. Замовлення 2/685.
Друкарня ХВУ, вул. Сумська, 77/79.

445128

AB 34.293