

УДК 621.878.2

## ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ЗАКРЕПЛЕНИЯ ШИРОКОЗАХВАТНОГО РАБОЧЕГО ОРГАНА К ТОЛКАЮЩЕЙ РАМЕ НА СИЛОВЫЕ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОЦЕССА РАЗРАБОТКИ ГРУНТА

В.А. Пенчук, проф., д.т.н., Н.В. Мыльников, асп.,  
Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, г. Макеевка

*Аннотация.* Рассмотрено влияние условий закрепления широкозахватного рабочего органа к толкающей раме на силовые и энергетические параметры процесса разработки грунта.

*Ключевые слова:* рабочее оборудование, стенд, грунт, эксперимент, моделирование.

## ВПЛИВ УМОВ ЗАКРІПЛЕННЯ ШИРОКОЗАХВАТНОГО РОБОЧОГО ОРГАНА ДО ШТОВХАЮЧОЇ РАМИ НА СИЛОВІ ТА ЕНЕРГЕТИЧНІ ПАРАМЕТРИ ПРОЦЕСУ РОЗРОБКИ ГРУНТУ

В.О. Пенчук, проф., д.т.н., М.В. Мильников, асп.,  
Донбаська національна академія будівництва і архітектури, м. Макіївка

*Анотація.* Розглянуто вплив умов закріплення широкозахватного робочого органа до штовхуючої рами на силові та енергетичні параметри процесу розробки ґрунту.

*Ключові слова:* робоче обладнання, стенд, ґрунт, експеримент, моделювання.

## INFLUENCE OF CONDITIONS OF LONG-REACH WORKING TOOLS ATTACHED TO THE PUSHING FRAME ON POWER AND ENERGY PARAMETERS OF SOIL EXCAVATING

V. Penchuk, Prof., Dr., Eng. Sc., N. Mylnikov, postgraduate,  
Donbass National Academy of Civil Engineering and Architecture, Makeevka

*Abstract.* Influence of conditions of long-reach working tools attached to the pushing frame on power and energy parameters of soil excavating has been considered.

*Key words:* working tool, stand, soil, experiment, modelling.

### Введение

Бульдозеры, скреперы и автогрейдеры являются наиболее массовыми землеройно-транспортными машинами, и все они имеют широкозахватные рабочие органы. Этими машинами выполняются в мире до 16 % всех земляных работ, поэтому вопросам снижения энергоемкости разработки грунта этими машинами уделялось и будет уделяться большее внимание.

### Анализ публикаций

Основам теории разработки грунта и совершенствованию конструкции широкозахватных рабочих органов посвятили свои работы такие ученые как: Баловнев В.И., Баладинский В.И., Ветров Ю.А., Зеленин А.Н., Кравец В.В., Назаров Л.В., Ничке В.В., Пелевин Л.Е., Пенчук В.А., Федоров Д.И., Хмара Л.А., Холодов А.М. и др. [1–16]. Именно этими учеными детально проанализированы процессы резания и копания традиционными

широкозахватными рабочими органами, у которых отвал жестко закреплен к толкающей раме.

Впервые в работах [1–7] предлагаются конструкции рабочих органов, в которых широкозахватный отвал имеет возможность изменять свое положение в пространстве. Связь отвала с толкающими брусками предлагается осуществлять с помощью нижних горизонтальных шарниров и раскосов с упругими или эксцентриковыми узлами. Установлено, что за счет саморегулирующих связей отвала с толкающими брусками можно обеспечить снижение энергоемкости процесса разработки грунта.

#### Цель и постановка задачи

Целью работы является экспериментальное подтверждение реального снижения энергоемкости разработки связного грунта 20–25 % широкозахватным рабочим органом за счет его саморегулирующего воздействия на массив грунта.

#### Экспериментальные исследования

Экспериментальное подтверждение теоретической гипотезы о том, что за счет адаптации широкозахватного рабочего органа к силам сопротивления массива грунта можно снизить энергоемкость разработки грунта, потребовало особого внимания к достоверности опытов.

Поэтому для проведения экспериментальных исследований был создан стенд физического моделирования процессов землеройно-транспортных машин, позволяющий осуществлять плоскопараллельное перемещение траверсы с рабочим органом с точностью до 0,1 мм. Такая точность была достигнута конструктивным исполнением ходовой части траверсы, которая оборудована 12 подшипниковыми узлами, охватывающими в перпендикулярных плоскостях абсолютно жесткую направляющую балку (рис. 1). В качестве модели грунта была использована смесь: 85 % речного песка, 1% глины и 5–10 % воды [8, 9].

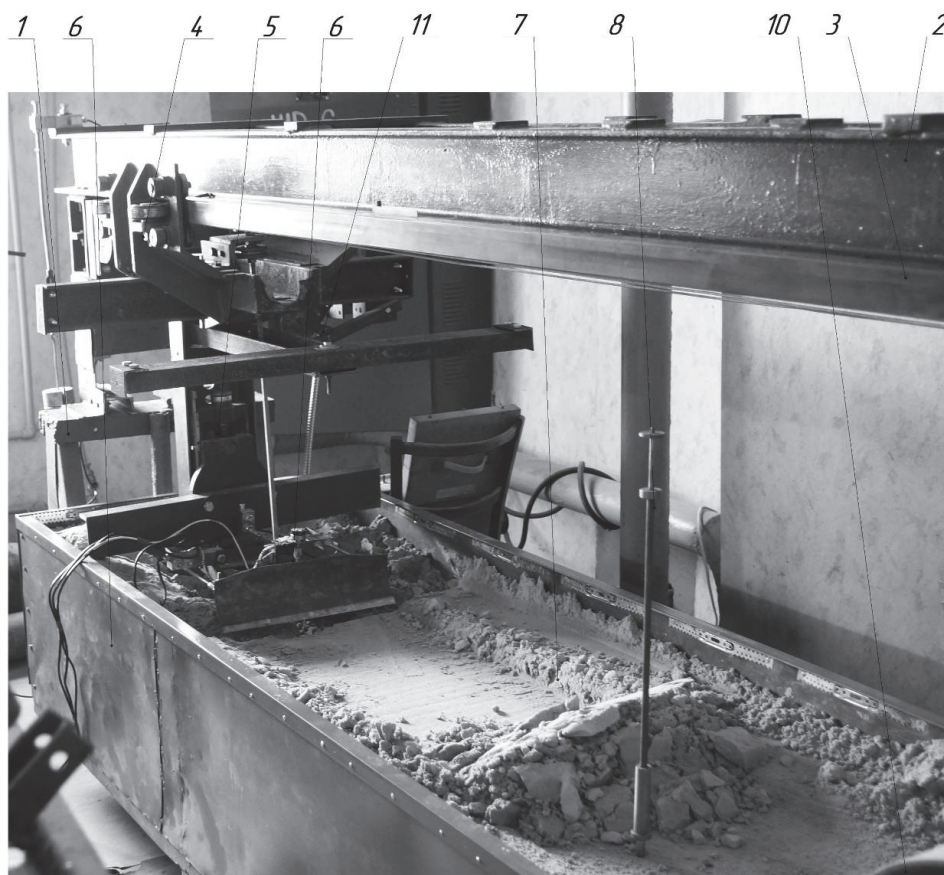


Рис. 1. Общий вид стенда физического моделирования рабочего процесса резания грунта: 1 – жесткая опора; 2 – балка; 3 – направляющие балки; 4 – навесная тележка; 5 – станина; 6 – модель бульдозера; 7 – модель грунта; 8 – ударник ДорНИИ; 9 – контейнер с грунтом; 10 – уплотнительный каток; 11 – привод

Уплотнение грунтового массива производится специальным катком. За счет определенного количества проходов катка обеспечивалась требуемая категория грунта, которая контролировалась с помощью модели ударника ДорНИИ (1:10), в соответствии с рекомендациями [8]. Для проведения детальных экспериментальных исследований процесса разработки грунта были изготовлены модели рабочих органов (рис. 2 и 3).

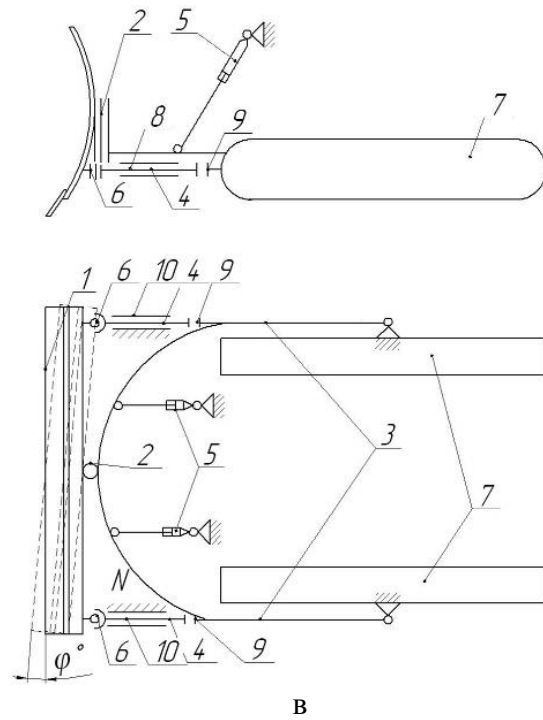
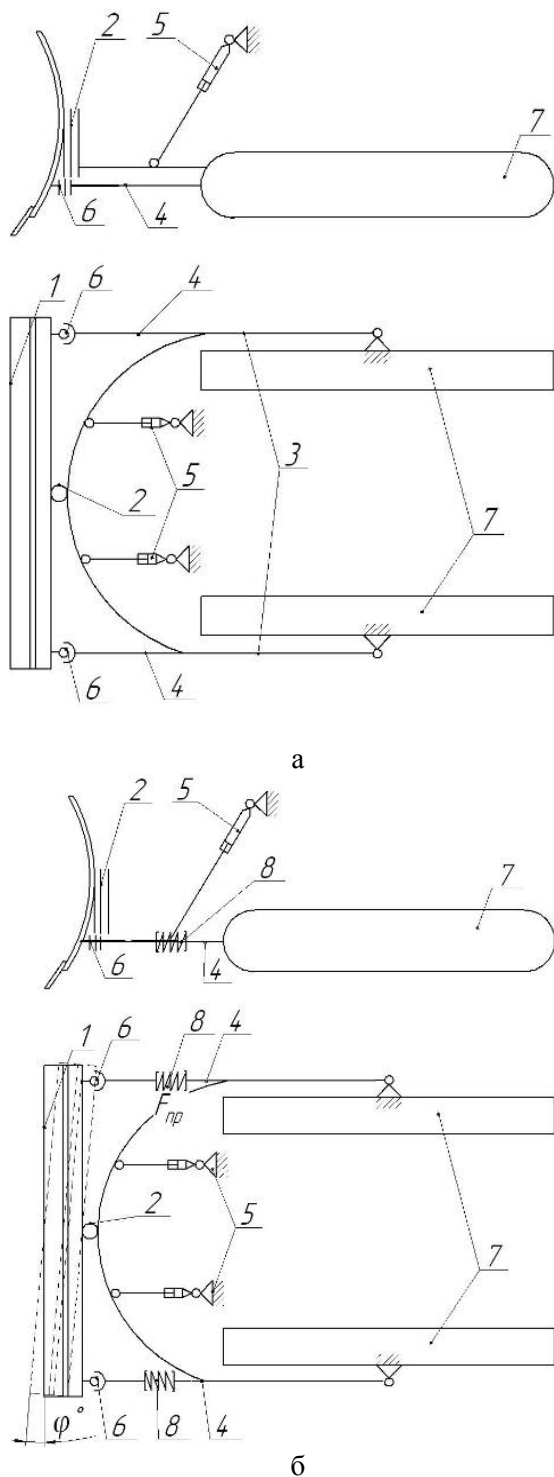


Рис. 2. Конструктивные схемы широкозахватных рабочих органов (вид сбоку и вид сверху): а – традиционный отвал с жестким закреплением к толкающим брускам; б – отвал с упругим закреплением к толкающим брускам; в – отвал со свободно-ограниченным закреплением к толкающим брусками; 1 – отвал; 2 – центральный поворотный шарнир; 3 – рама рабочего оборудования; 4 – толкающие бруска; 5 – гидроцилиндры подъема рамы; 6 – шарнир; 7 – гусеничное ходовое оборудование; 8 – упругий элемент с переменной жесткостью; 9 – жесткий упор; 10 – возвратно-поступательный шарнир

Экспериментальные исследования проводились по плану-матрице центрального, композиционного, ротатбельного планирования второго порядка [17]. При доверительной вероятности по критерию Стьюдента, равной 95 %, в каждой точке проводилось пять повторяемых опытов. Фиксировались следующие параметры: общее усилие копания грунта, усилие и перемещение боковых рычагов, угловое вращение отвала относительно центрального шарнира, масса разработанного грунта.

Запись и обработка результатов экспериментальных исследований проводились с использованием программного обеспечения PowerGraph Professional. Фрагменты записи усилий и перемещений показаны на рис. 4.

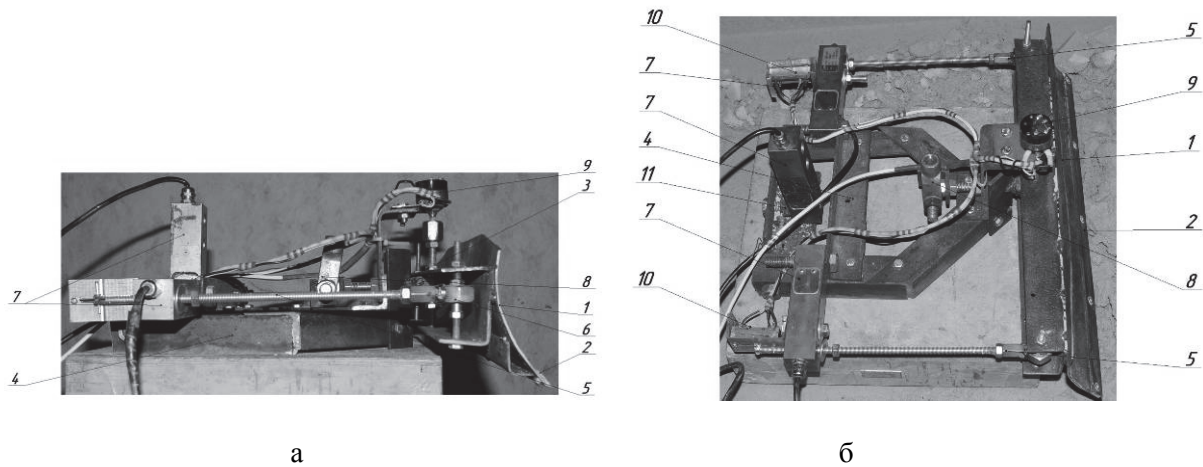


Рис. 3. Фотография экспериментальной модели бульдозерного оборудования: а – вид сбоку, б – вид сверху, 1 – лобовая поверхность; 2 – нож; 3 – датчик усилия; 4 – лонжерон; 5 – боковые рычаги; 6 – боковые шарниры; 7 – датчики усилия; 8 – вертикальный шарнир; 9 – датчик угла поворота; 10 – датчики перемещения; 11 – толкающая рама

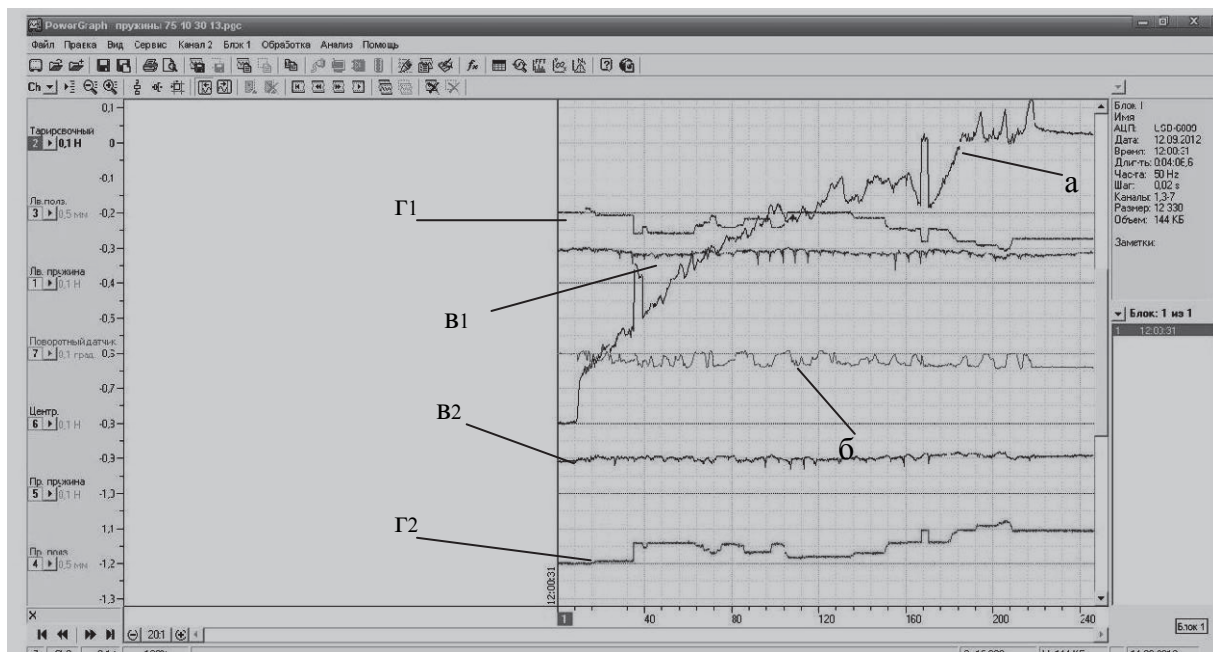


Рис. 4. Осциллограмма эксперимента разработки грунта бульдозерным рабочим органом при скорости  $V = 20$  м/мин; глубина резания  $h = 30$  мм; плотность грунта  $n = 16$  ударов модели ударника ДорНИИ и по схеме (рис. 2, б): а – усилие в толкающей раме; б – угол поворота отвала; B1 – усилие в левом боковом рычаге; B2 – усилие в правом боковом рычаге; Г1 – перемещение в левом боковом рычаге; Г2 – перемещение в правом боковом рычаге

Системный анализ результатов экспериментальных исследований (более 150 опытов) позволил сделать следующие обобщения:

- прочность грунта оказывает влияние на усилие сопротивления его разработки, при этом характер его изменения практически одинаков для всех схем рабочих органов (рис. 5, 6 и 7);
- минимальное сопротивление грунта разработки характерно для расчетной схемы

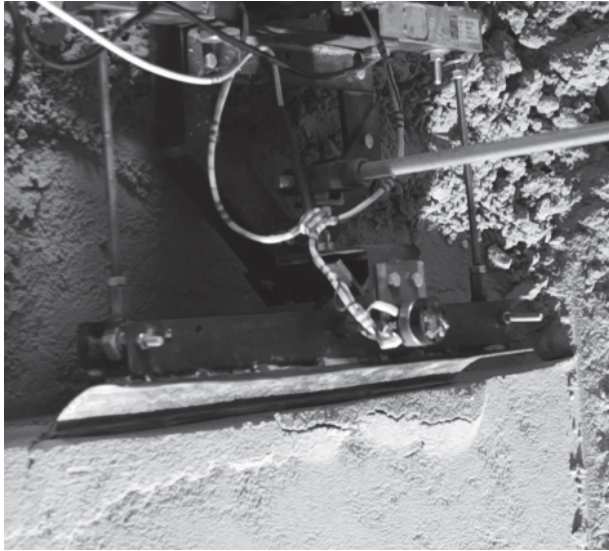
рис. 2, в, в которой отвал имеет центральный шарнир и свободно-ограниченные связи с толкающей рамой (рис. 6).

Обработка результатов экспериментальных исследований позволила установить регрессионную зависимость, а также оценить влияние отдельных факторов на усилие разработки грунта (рис. 8).

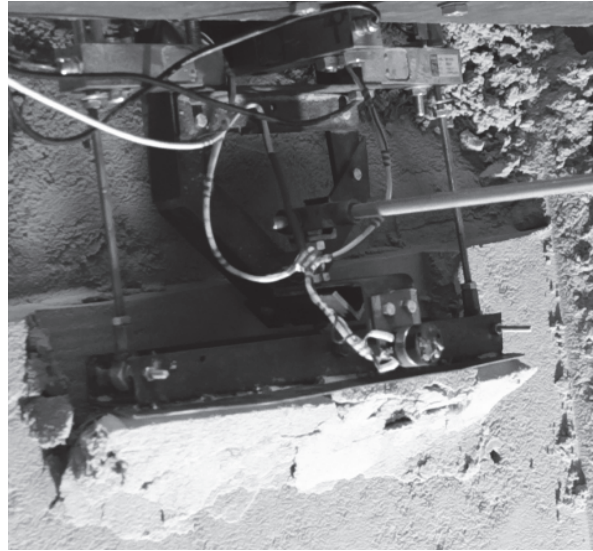
Регрессионная зависимость сопротивления грунта резанию  $F$  от факторов  $C$ ,  $V$ ,  $h$  и  $n$ .

$$F = 45,1688 - 0,350567 \cdot C + 9,42217 \cdot V + 0,594167 \cdot h - 15,9557 \cdot n + 0,00693033 \cdot C^2 +$$
(1)

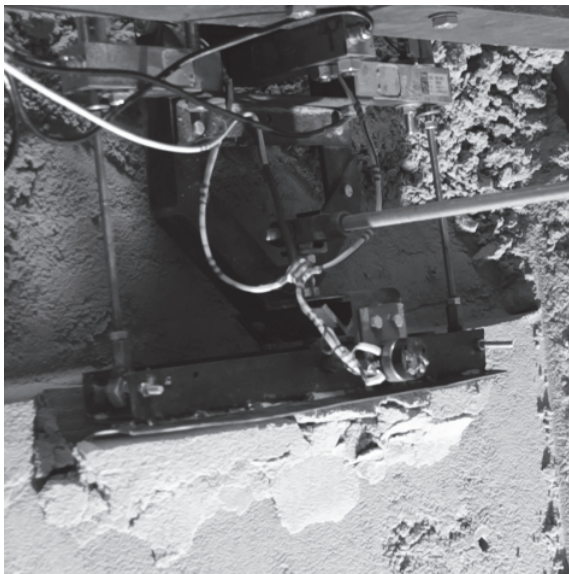
$$+ 0,0097 \cdot C \cdot V - 0,0131 \cdot C \cdot h - 0,0243 \cdot C \cdot n + 0,429908 \cdot V^2 - 0,43165 \cdot V \cdot h - 0,643583 \cdot V \cdot n + 0,0766583 \cdot h^2 + 0,65425 \cdot h \cdot n + 1,33252 \cdot n^2.$$



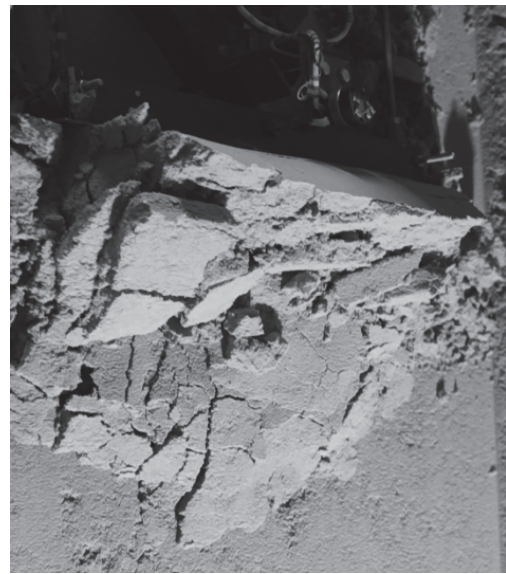
а



в



б



г

Рис. 5. Фотограмма процесса копания грунта рабочим органом по схеме (рис. 2, в): а – процесс внедрения; б – процесс отделения стружки грунта; в – начальный процесс накопления призмы волочения; г – конечный процесс накопления призмы волочения

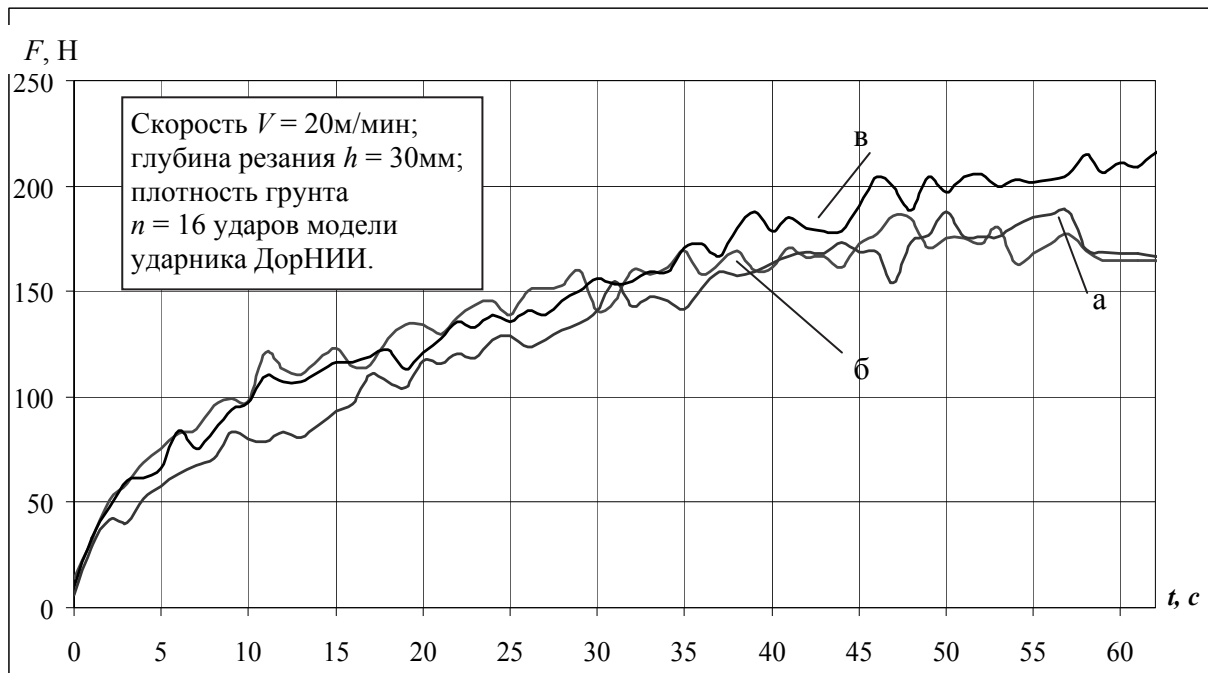


Рис. 6. Зависимости усилий разработки грунта для различных конструктивных схем бульдозерного оборудования: а – для рис. 2, в; б – для рис. 2, б; в – для рис. 2, а

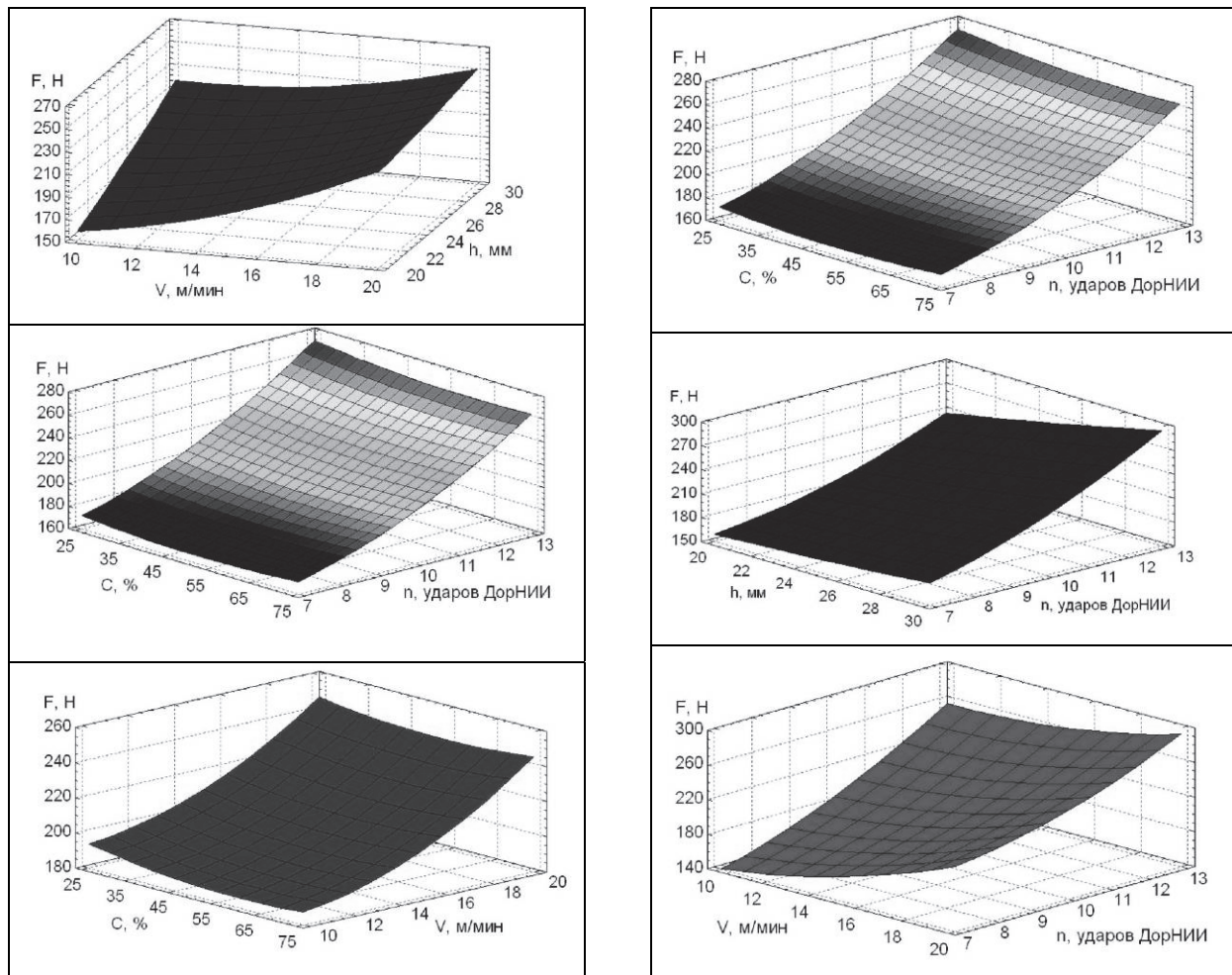


Рис. 7. Поверхности отклика сопротивления грунта резанию  $F$  от факторов  $C, V, h$  и  $n$

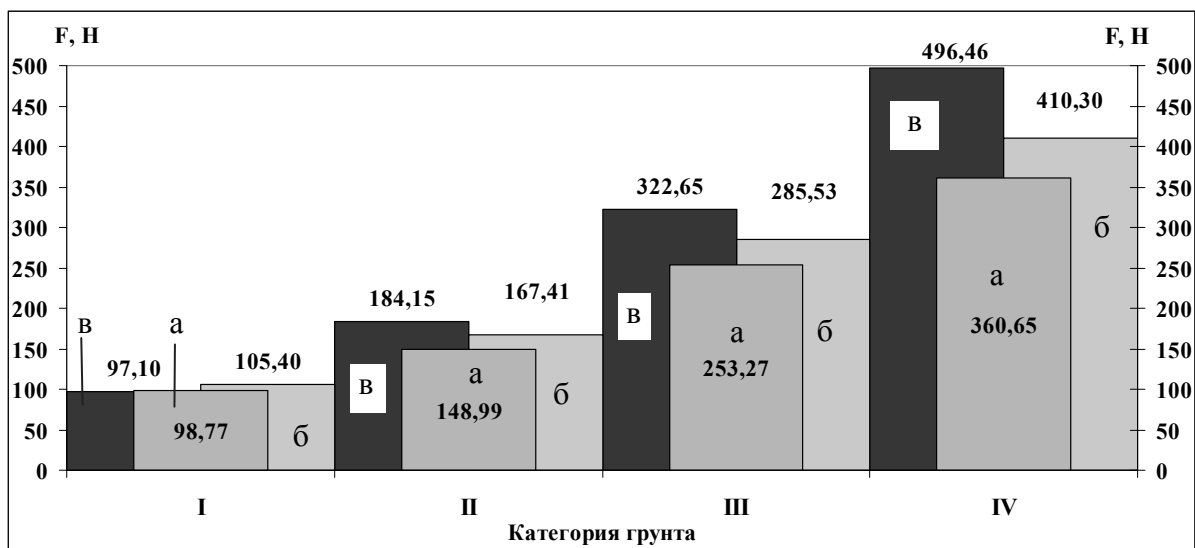


Рис. 8. Гистограмма сопротивления копанию грунта для различных категорий грунта и схем закрепления отвала при  $V = 20$  м/мин,  $h = 20$  мм: а – свободно-ограниченный отвал; б – упругий отвал; в – жесткий отвал (традиционный)

### Выводы

Экспериментальные исследования показали, что бульдозерное оборудование, у которого отвал закреплен к тяговой раме при помощи центрального шарнира и боковых связей, жестких, упругих и свободных с регулируемым зазором, работоспособно.

В процессе разработки грунта рабочими органами со свободным и упругим креплением к тяговой раме отвалы совершают возвратно-вращательные движения относительно центрального шарнира. Эти движения отвала обеспечивают поиск наименее энергоемкого его взаимодействия с массивом грунта.

Отвал со свободно-ограниченным шарнирами, по сравнению с традиционным рабочим органом (жестким) усилие разработки грунта уменьшается на 20–30 %.

### Литература

1. Пенчук В.А. Современное состояние теорий резания грунта / В.А. Пенчук // ИНТЕРСТРОЙМЕХ-2003: материалы международной научно-технической конференции, 2003. – С. 134–137.
2. Пенчук В.А. Резервы повышения производительности бульдозерного оборудования / В.А. Пенчук, Е.М. Браславский, Б.А. Финьков // Механизация строительства. – 1993. – № 4. – С. 13–15.
3. Пенчук В.А. Закономерности разрушения грунта рабочими органами машин для земляных работ / В.А. Пенчук // Известия вузов. Строительство. – 1999. – №1. – С. 97–102.
4. Пенчук В.А. О колебании сопротивлений массива грунта разрушению / В.А. Пенчук, А.К. Кралин // Строительные и дорожные машины. – 1999. – № 11. – С. 32–33.
5. Хмара Л.А. Дальнейшее совершенствование конструкций комбинированных рабочих органов на базе метода функционального расчленения / Л.А. Хмара, В.А. Пенчук // Вестник Приднепровской государственной академии строительства и архитектуры: сб. науч. тр. – 2006. – №12. – С. 45–53.
6. Машины для земляных работ. Конструкция. Расчет. Потребительские свойства: в 2 кн. Кн.1. Экскаваторы и землеройно-транспортные машины: учебное пособие для вузов / В.И. Баловнев, С.Н. Глаголев, Р.Г. Данилов и др.; под общ. ред. В.И. Баловнева. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2011. – 400 с.
7. Машины для земляных работ. Конструкция. Расчет. Потребительские свойства: в 2 кн. Кн.2. Погрузочно-разгрузочные и уплотняющие машины: учебное пособие для вузов / В.И. Баловнев, С.Н. Глаголев, Р.Г. Данилов и др.; под общ. ред. В.И. Баловнева. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2011. – 464 с.

8. Баловнев В.И. Методы физического моделирования рабочих процессов дорожно-строительных машин / В.И. Баловнев. – М.: Машиностроение, 1974. – 232 с.
9. Мильніков М.В. Стенд фізичного моделювання процесів руйнування ґрунту / М.В. Мильніков // Вісник ДонНАБА: зб. наук. ст. – 2012. – №6. – С. 135–138.
10. Пелевин Л.Е. Статическая связь между силами сопротивления резанию на различных участках ножа бульдозера / Л.Е. Пелевин // Горные, строительные и дорожные машины: Респ. межвед. науч.-техн. сб. – 1990. – Вып. 43. – С. 23–27.
11. Блохин В.С. Машины для земляных работ, предпосылки повышения их конкурентоспособности: учебное пособие / В.С. Блохин, Н.Г. Малич. – Днепропетровск: ИМА-пресс, 2005. – 304 с.
12. Крупко В.А. Динамические характер сил резания / В.А. Крупко // Статика и динамика машин, 1978. – С. 18–20.
13. Крупко В.А. Размеры области пластической деформации модели грунта при резании плоским ножом / В.А. Крупко, В.Н. Смирнов // Горные, строительные и дорожные машины: Респ. межвед. науч.-техн. сб. – 1985. – Вып. 38. – С. 47–50.
14. Пристайло Ю.П. Зависимость коэффициента энергоемкости резания от параметров среза при полусвободном и свободном резании / Ю.П. Пристайло, В.А. Крупко // Горные, строительные и дорожные машины. – 1976. – Вып. 22. – С. 20–25.
15. Чудновский В.Ю. Критерии подобия грунтов при моделировании рабочего процесса роторных экскаваторов / В.Ю. Чудновский // Горные, строительные и дорожные машины. – 1978. – Вып. 26. – С. 33–38.
16. Смирнов В.Н. Особенности процесса разрушения грунтов при косом резании / В.Н. Смирнов // Горные, строительные и дорожные машины. – 1978. – Вып. 26. – С. 52–56.
17. Винарский М.С. Планирование эксперимента в технологических исследованиях / М.С. Винарский, М.В. Лурье. – К.: Техніка, 1975. – 168 с.

Рецензент: И.Г. Кириченко, профессор, д.т.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 20 июня 2014 г.

---