

**С. Н. ИВАНЧЕНКО, докт. техн. наук, С. А. ШЕМЯКИН, докт. техн. наук,
А. Ю. ЧЕБАН, канд. техн. наук, В. Е. БЕЛОВ, асп.**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Тихоокеанский государственный университет».

Россия.

АНАЛИЗ ЗАЧЕРПЫВАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СКРЕПЕРА С ИМПУЛЬСНЫМИ КОЛЕБАНИЯМИ КОВША

Актуальность проблемы. В настоящее время существует множество предложений по повышению зачерпывающей способности скреперов, однако из всех опубликованных интенсификаторов процесса загрузки ковшей в мировой практике скреперостроения нашли применение лишь скребковые и шнековые элеваторы. Элеваторная загрузка имеет ряд известных недостатков, к которым прежде всего следует отнести, во-первых, затруднения при зачерпывании пород с крупнообломочными включениями, во-вторых, они занимают значительную часть полезного объема ковша, в-третьих, осложняется процесс разгрузки породы из ковша. В связи с этим отыскание эффективных интенсификаторов загрузки ковшей скреперов по прежнему остается актуальной задачей.

Целью статьи является обоснование конструктивной схемы скрепера с импульсными колебаниями ковша, способного зачерпывать в ковши породу различной структуры и состояния с высоким коэффициентом их заполнения и снижением общего сопротивления копанию.

Анализ публикаций. Одно из направлений повышения зачерпывающей способности скреперов является увеличение подвижности ковша относительно базовой машины. Впервые обсуждение новой компоновочной схемы скрепера с задним расположением гидромеханизма подъема-опускания ковша было проведено Плешковым Д. И. (рис. 1 а, б) [1]. При такой схеме днище ковша 1 при помощи гидромеханизма 2 и промежуточной рамы 5 занимает наинизшее из возможных положений, а угол резания наименьшее значение. Преимущества предлагаемой схемы заключается в облегчении начальных условий загрузки ковша, снижении сопротивления резанию и копанию породы.

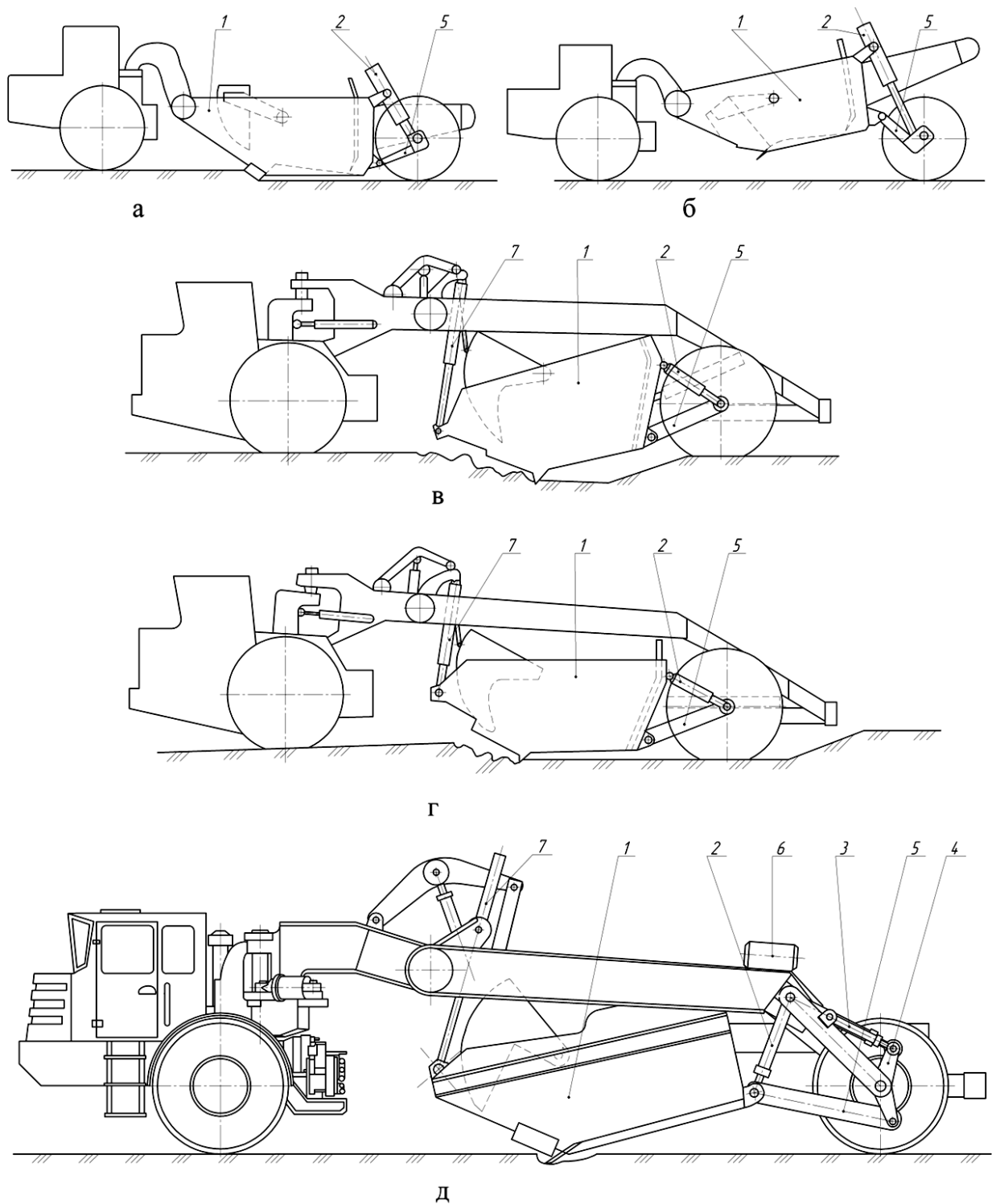


Рис.1. Конструктивные схемы скреперов: а – с задним расположением гидромеханизма подъема-опускания ковша при копании; б – с задним расположением гидромеханизма подъема-опускания ковша в транспортном положении; в – с передним и задним расположением гидромеханизмов подъема-опускания ковша при зарезании; г – с передним и задним гидромеханизмами подъема-опускания ковша при копании; д – с импульсными колебаниями ковша при копании.

Проведенные в ТОГУ экспериментальные исследования по копанию породы моделями скреперных ковшей в грунтовом канале [2], позволили сделать вывод о том,

что при уменьшении угла наклона днища к срезаемой поверхности от 20^0 до -2^0 коэффициент наполнения повышается более чем в полтора раза, а сопротивление копанью понижается на 10...15%.

Несмотря на ряд положительных качеств схемы с задним расположением гидромеханизма подъема-опускания ковша существует недостаток, препятствующий внедрению этой схемы в практику скреперостроения. Недостаток заключается в невозможности работы скрепера по клиновой и гребенчатой технологическим схемам работ, поскольку днище ковша соприкасается с поверхностью породы.

С целью повышения подвижности ковша предлагались различные варианты конструктивной схемы рабочего оборудования скрепера. Например, известна конструкция скрепера, состоящая из тяговой рамы с упряжными тягами, ковша с подвижным буфером, задней ходовой частью, причем буфер шарнирно соединен с ковшом и посредством шарнирных тяг с упряжными тягами (авторское свидетельство СССР №1305265А1). Данная конструкция при наличии одного переднего механизма подъема-опускания ковша позволяет одновременно опускать и поднимать переднюю и заднюю часть ковша при неизменном расстоянии буфера от поверхности земли. Однако, одновременное заглубление передней и задней частей ковша не позволяет обеспечить резкое начальное зарезание ковша в породу по клиновой и гребенчатой технологическим схемам работы, поскольку днище ковша касается поверхности земли.

Оригинальна конструкция скрепера, включающая тяговую раму с упряжными тягами, закрепленными шарнирно к боковым стенкам ковша, передний и задний гидромеханизмы подъема-опускания ковша (патент США №3100355, Кл. 37-126, опубл. 1963). Независимая работа переднего и заднего гидромеханизмов подъема-опускания ковша позволяет выполнять резкое зарезание ножа в породу без столкновения днища с породой, а также проводить зачерпывание при горизонтальном расположении днища ковша, способствующем уменьшению сопротивления копанью. Недостатки этой конструкции скрепера, во-первых, в том, что не реализуется одно из главных преимуществ заднего расположения гидромеханизма подъема-опускания ковша, которое заключается в возможности убрать упряжные тяги и за счет этого увеличить ширину ковша и удельную силу тяги при копании. Во-вторых, при такой конструкции возникает большой угол откренивания назад одноосных тягачей (до 20^0) из-за опускания задних колес скрепера в отрываемую ковшом траншею, а также опускания задней части ковша при работе заднего гидромеханизма подъема-опускания ковша. Значительный крен тягача назад ухудшает условия работы машиниста, уменьшается клиренс, ухудшаются условия работы двигателя и т.д.

Конструкция скрепера (рис. 1 в, г) [3] лишена указанных выше недостатков. Отличия от предыдущей конструкции заключается в следующем:

- тяговая рама выполнена цельной с задней осью и буфером, при этом упряжные тяги тяговой рамы располагаются выше ковша;

- гидроцилиндры переднего гидромеханизма подъема-опускания ковша закреплены к кронштейнам поперечной балки тяговой рамы и кронштейнам ковша с помощью шаровых шарниров и имеют наклон в поперечной и продольной плоскостях ковша относительно вертикали к поверхности породы;

- гидроцилиндры переднего и заднего гидромеханизмов подъема-опускания ковша обеспечивают в транспортном положении скрепера подтягивание верхних кромок боковых стенок ковша к упряжным тягам.

Такая конструкция скрепера позволяет:

- увеличить удельную силу тяги из-за возможности увеличения ширины ковша за счет отсутствия упряжных тяг со стороны боковых стенок ковша;

- уменьшаются потери «шапки» породы из ковша при транспортировке;

- увеличивается емкость ковша при использовании упряжных тяг тяговой рамы в качестве дополнительных бортов, что имеет большое значение при эксплуатации скрепера в качестве транспортного средства;

- улучшаются условия труда машиниста и условия работы двигателя из-за значительного уменьшения угла открывания базового тягача назад при копании.

Кроме того, приведенная на рисунке 1 в, г подвеска ковша после определенных изменений позволяет придать ему импульсные колебания в вертикальной и горизонтальной плоскостях, что значительно повышает зачерпывающую способность скрепера.

Конструкция и принцип действия скрепера с гидромеханизмами импульсных колебаний ковша (рис. 1, д), расположенных со стороны задней оси, излагалась ранее [4, 5]. Гидромеханизмы импульсных колебаний ковша представляют собой своеобразный интенсификатор загрузки.

Согласно экспериментальных исследований, проведенных в ТОГУ, увеличение коэффициента заполнения ковша 1 связной и несвязной породой на 30...35% при наличии интенсификатора загрузки в виде гидромеханизма 2 импульсных колебаний в вертикальной плоскости можно объяснить уменьшением сопротивления продвижению срезанной породы, находящейся в ковше периодически в состоянии невесомости (в хвостовой части ковша) или частичной невесомости (в средней и передней частях ковша).

Гидромеханизм импульсной подачи ковша вперед 3 обеспечивает подбор призмы волочения перед ковшом и тем самым снижает общее сопротивление копанию породы ковшом. Гидромеханизм импульсной подачи ковша вперед передает усилие на ковш через двуплечий рычаг 4 и промежуточную раму 5. Гидроаккумуляторы 6, заряжаемые при холостых пробегах машины или при движении под уклон, позволяют устранить отдачу значительной части мощности двигателя на привод интенсификатора загрузки и тем самым повысить эффективность работы скрепера в целом. Передний гидромеханизм подъема-опускания ковша 7 обеспечивает работу скрепера по клиновой и гребенчатой технологическим схемам работы.

В связи со значительными преимуществами предлагаемой конструкции интенсификатора, по сравнению с многочисленными аналогами, представляет определенный интерес метод определения суммарного сопротивления зачерпыванию породы в конечной стадии заполнения коша с данным интенсификатором. Кроме того, возникает вопрос о сопоставлении сопротивления и энергоемкости зачерпыванию породы при помощи интенсификатора с теми же величинами, но при заполнении ковша только под давлением срезаемой стружки.

Известны два метода расчета сопротивлений копанию ковшом скрепера под давлением срезаемой стружки, используемых наиболее часто в практике проектирования, это Зеленина А.Н. для несвязных пород [6] и Петерса Е.Р. для связных пород [7]. Согласно обоим методам суммарное сопротивление копанию состоит из трех слагаемых: сопротивления резанию породы, сопротивления перемещению призмы волочения и сопротивления перемещению породы внутри ковша.

Таким образом, общее сопротивление копанию в конечной стадии заполнения, соответствующем последнему импульсу колебаний ковша вниз и вперед, будет равно

$$\sum W = W_{\delta} + W_{ид} + W_{ai}, \quad (1)$$

где W_p – сопротивление породы резанию; $W_{пр}$ – сопротивление перемещению призмы волочения перед ковшом; $W_{вн}$ – сопротивления, связанные с перемещением породы внутри ковша.

Сопротивление резанию

$$W_{\delta} = \hat{E} \cdot h \cdot B_{\hat{E}}, \quad (2)$$

где \hat{E} – коэффициент удельного сопротивления резанию (для несвязных пород $\hat{E} = 5...7$ Н/см², для связных пород $\hat{E} = 8...10$ Н/см²); h – толщина срезаемой стружки; $B_{\hat{E}}$ – ширина ковша (длина ножей).

Сопротивление перемещению призмы волочения

$$W_{\text{в}} = \frac{\dot{I}_{\hat{E}}^2 \cdot \hat{A}_{\hat{E}} \cdot \gamma_{\hat{I}}}{2 \operatorname{tg} \varphi}, \quad (3)$$

где $H_{\hat{E}}$ – высота заполнения ковша породой; $\gamma_{\hat{I}}$ – приведенная объемная сила тяжести породы (Н/м^3); φ - угол естественного откоса породы.

В дальнейшем прослежено видоизменение этих составляющих сопротивления копанью при работе интенсификатора импульсных колебаний ковша.

Экспериментальные исследования по копанью связных и несвязных пород в грунтовом канале проводились на моделях скреперных ковшей с коэффициентом линейного подобия 1:8 по отношению к скреперу ДЗ-155-1. Длина модели ковша L_K составляла 0,4м, ширина ковша B_K равнялась 0,4м, а высота боковой стенки ковша H_K соответственно 0,3м. Исследования проводились с интенсификатором загрузки и без него. Опыты показали, что при наличии 5-6 импульсов вниз и вперед ковши заполняются полностью, а призма волочения перед заслонкой образуется в два раза меньшем объеме, чем при заполнении ковша только под давлением стружки. Сопротивление резанию изменяет своё значение по сравнению с этой составляющей при заполнении ковша без импульсных колебаний. Это обстоятельство объясняется тем, что при опускании задней части ковша к поверхности породы угол резания ножей уменьшается. Уменьшение угла наклона днища и угла резания приводит к уменьшению сопротивления резанию и компенсирует увеличение сопротивления резанию за счет динамической составляющей при импульсе ковша вперед.

При опускании ковша в нижнее положение угол резания уменьшается на 20° , в связи с этим сопротивление резанию уменьшается в 1,4 раза [6]. В результате составляющая сопротивления резанию будет равна

$$W_{\delta} = 0,7 \hat{E} \cdot \hat{A}_{\hat{E}} \cdot h. \quad (4)$$

Значения сопротивлений перемещению породы внутри ковша претерпевают, согласно экспериментов с датчиками давления, значительные изменения в сторону уменьшения, поскольку удельные давления на боковые стенки и днище распределяются неравномерно по длине ковша. В задней части ковша давление отсутствует, а в передней части оно такое, какое возникает при копании без интенсификатора (рис. 2).

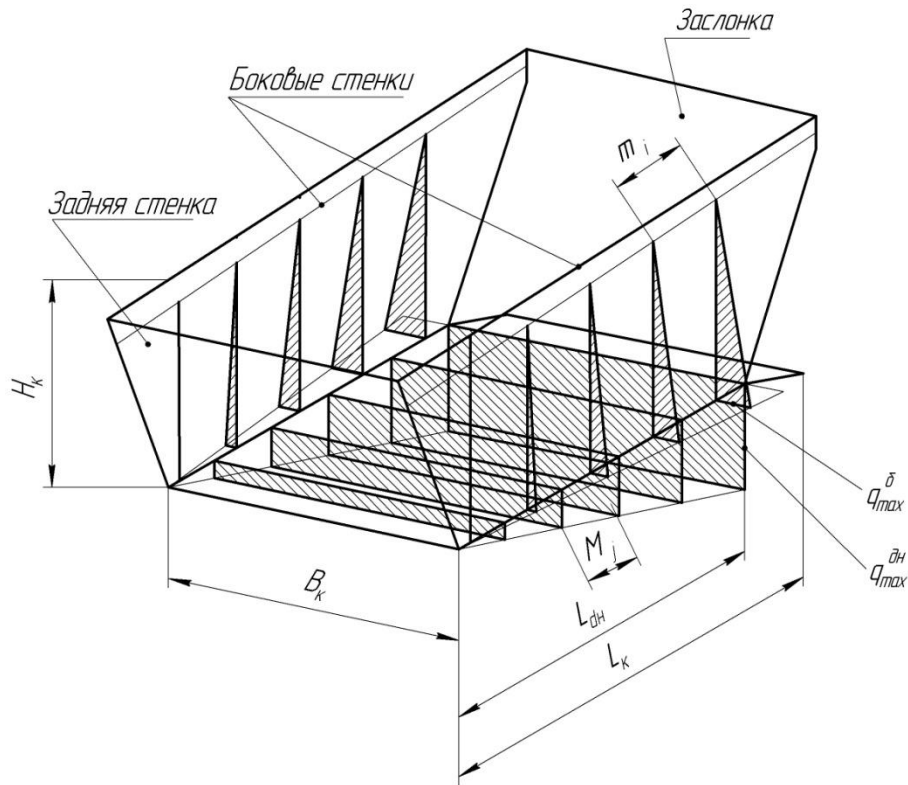


Рис. 2. Распределение активных удельных давлений на боковые стенки q_{max}^{δ} и днище $q_{max}^{\delta H}$ ковша во время импульсного движения ковша вниз и вперед в конечной стадии копания.

Сопротивление перемещению призмы волочения уменьшается и может быть определено по зависимости

$$W_{i\delta} = \frac{0,5 \dot{I}_{\hat{E}}^2 \cdot \hat{A}_{\hat{E}} \cdot \gamma_i}{2 \operatorname{tg} \varphi}. \quad (5)$$

Сопротивление перемещению породы внутри ковша равно

$$W_{\hat{a}i} = \left[2 \left(\iint_q f(\dot{I}_{\hat{E}}, L_{\hat{E}}) dq \right) + \iint_q f(L_{\hat{a}i}, B_{\hat{E}}) dq \right] \mu_1, \quad (6)$$

или при приближенном интегрировании

$$W_{\hat{a}i} = \left[2 \left(\sum_{i=1}^n m_i \cdot \Delta q_i^{\hat{a}} \right) + \hat{A}_{\hat{E}} \sum_{j=1}^n M_j \cdot \Delta q_j^{\hat{a}i} \right] \mu_1, \quad (7)$$

где μ_1 - коэффициент трения породы о сталь; $\delta_i \cdot \Delta q_i^{\hat{a}}$ и $M_j \cdot \Delta q_j^{\hat{a}i}$ - соответственно объемы призм q с основанием по боковым стенкам Δq_i^{δ} и днищу $\Delta q_j^{\delta H}$; m_i и M_j - соответственно i -тые и j -тые отрезки призм давления на боковые стенки и днище ковша при приближенном интегрировании активных давлений Δq_i^{δ} и $\Delta q_j^{\delta H}$.

Максимальное активное давление на боковую стенку в передней части ковша можно определить по закону Кулона (Н/м)

$$q_{max}^{\hat{a}} = \gamma_i \cdot \frac{\dot{I}_{\hat{E}}^2}{2} \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi_2}{2} \right), \quad (8)$$

где φ_2 - угол внутреннего трения породы о породу.

Максимальное активное давление на днище ковша равно

$$q_{\max}^{\ddot{a}i} = \frac{V \cdot \gamma_i}{L_{\ddot{a}i} \cdot \hat{A}_{\hat{E}}}, \quad (9)$$

где V - вместимость ковша.

Расчет по приведенным зависимостям при наличии интенсификатора загрузки ковша в виде импульсных колебаний, показывает, что значения сопротивлений копанью в конечной стадии заполнения снижаются и по расчетным и по экспериментальным данным на несвязных породах на 50%, а на связных на 21% (рис. 3).

При определении сопротивлений копанью и, следовательно, построения графиков на рис.3 были приняты следующие условия и допущения:

- объем породы в ковше и в призме волочения возрастает прямо пропорционально пути заполнения L ;
- длина пути заполнения ковша $L = 4\text{м}$;
- за время заполнения ковша происходит 6 импульсов ковша;

- время одного импульса 2 секунды;
- скорость движения ковша 0,3м/с;
- время движения ковша на пути заполнения 13,3с;
- сопротивления копанью на несвязных породах (песок с весовой процентной влажностью $\omega = 12\%$) определялось по методике Зеленина А.Н. (график 3 на рис. 3);
- сопротивление на связных породах (суглинке с весовой процентной влажностью $\omega = 15\%$) определялось по методике Петерса Е.Р. (граф. 1 на рис. 3);

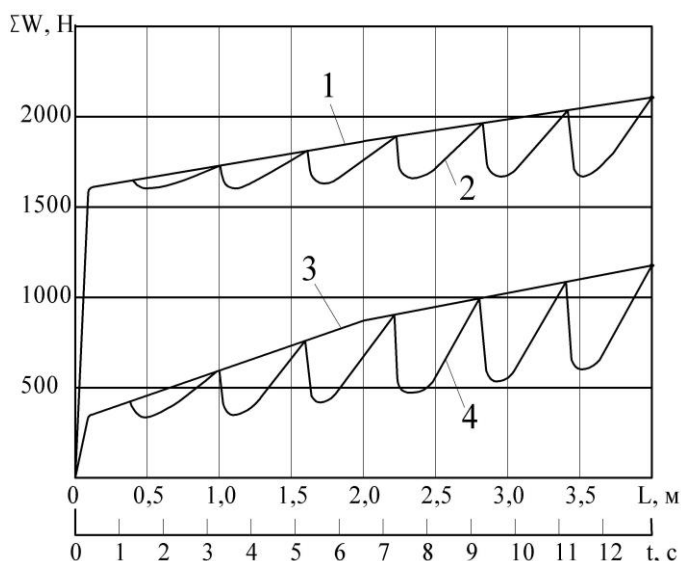


Рис. 3. Зависимости сопротивления копанью ΣW от пути перемещения L (или времени t): 1 – сопротивление копанью суглинка без интенсификатора; 2 – сопротивление копанью суглинка с интенсификатором; 3 – сопротивление копанью песка без интенсификатора; 4 – сопротивление копанью песка с интенсификатором.

- время падения ковша 0,2с, время движения ковша в нижнем положении 0,8с, а время подъема ковша 1с.

В связи с тем, что на придание импульсных колебаний в вертикальной плоскости требуется периодически поднимать заднюю часть ковша в процессе копания, то сравнение по энергоемкости заполнения ковша с рассматриваемым интенсификатором и с заполнением только под давлением срезаемой стружки вполне актуально. Следует отметить, что энергию падающей задней части ковша можно рекуперировать в дополнительную энергию для создания импульса ковша вперед. Для этой цели ковш должен падать на демпферы в виде коротких гидроцилиндров. Выдавленная из полостей демпферов жидкость поступает по гибкому трубопроводу в дополнительные гидроцилиндры 3 (рис. 1д), которые через двуплечий рычаг 4 и промежуточную раму 5 передают усилия на ковш [8].

Сравнение по сопротивлению копанию и энергоемкости целесообразно провести для модели ковша, на котором проводились эксперименты в грунтовом канале.

Сравнение по затратам энергии на копание проводилось путем планиметрирования площадей под графиками (рис.3) 1 и 2, а также 3 и 4. С учетом затрат энергии на шесть подъемов ковша энергия (работа) на копание связной породы с применением импульсных колебаний на 11% меньше, чем при копании по традиционной технологии. Затраты энергии на копание несвязной породы с применением интенсификатора импульсных колебаний уменьшаются на 21% по сравнению с копанием только под давлением срезаемой стружки.

Выводы. 1. Проведенные эксперименты в грунтовом канале на моделях скреперных ковшей с механизмами импульсных колебаний вниз и вперед, установленных за задней стенкой, позволяют увеличить коэффициент заполнения на 30...35% на связной и несвязной породе.

2. Наличие интенсификатора загрузки в виде механизмов импульсных колебаний ковша дает возможность снизить сопротивление копанию на несвязных породах на 50%, а на связных на 21%.

3. Необходимая энергия на копание с интенсификатором импульсных колебаний ковша связной породы на 11%, а несвязной на 21% ниже, чем энергия на копание только под давлением срезаемой стружки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Плешков Д.И. Возможное улучшение компоновочной схемы скреперов // Строительные и дорожные машины. 1978. №7. С.7-8.
2. Шемякин С.А., Иванченко С.Н., Мамаев Ю.А. Ведение открытых горных работ на основе совершенствования выемки пород. – М.: Издательство «Горная книга». 2006. – 315с.
3. Патент на изобретение №2188279 С1. Россия. E02F 3/64. Скрепер /Шемякин С.А./ Заявл. 27.03.2001; Опубл. 27.08.2002, Бюл. №24.
4. Шемякин С.А., Иванченко С.Н., Чебан А.Ю., Матвеев Д.Н., Белов В.Е. Скреперы для работы по послойно-полосовым технологиям// Горное оборудование и электромеханика, 2011, №4, С.17-21.
5. Патент на изобретение №2283923 С2 Россия. E02F 3/64. Скрепер/ Клигунов Е.С., Шемякин С.А., Оникиенко А.В./ заявл. 04.11.2004. Опубл. 20.09.2006. Бюл. №26.
6. Зеленин А.Н. и др. Машины для земляных работ. Учебное пособие для вузов. М., «Машиностроение», 1975, – 424 с.
7. Анохин А.Н., Петерс Е.Р., Эвенитов И.М., Хархута Н.Я. Дорожные машины (основы теории и расчета). М., Дориздат, 1950, – 159 с.
8. Патент на изобретение № 2460850 С2 E02F 3/64. Скрепер/ Шемякин С.А., Белов В.Е., Матвеев Д.Н., Чебан А.Ю. / заявл. 11.03.2011. Опубл. 10.07.2012. Бюл. №25.

УДК 624.132.3

В.Д. МУСІЙКО, докт. техн. наук, М.П. КУЗЬМІНЕЦЬ, канд. техн. наук.

Національний транспортний університет, м. Київ

РЕЗУЛЬТАТИ ВИПРОБУВАННЯ ЗМІННОГО ОБЛАДНАННЯ ЕКСКАВАТОРА ДЛЯ ПІДКОПУВАННЯ ТА УЩІЛЬНЕННЯ ГРУНТУ ПІД ТРУБОПРОВОДОМ

Актуальність проблеми. Останнім часом в Україні постала необхідність виконання капітального ремонту десятків тисяч кілометрів магістральних газо- та нафтопроводів, які експлуатуються більше 25...30 років. Це дозволить забезпечити їхню надійну експлуатацію на майбутні десятиріччя.

Швидко та ефективно виконати значні обсяги робіт можливо за умови використання сучасних машин, серед яких важливу роль відіграють машини для виконання земляних