

УДК 622.271.4

И.А. Паначев, М.Ю. Насонов, К.В. Антонов

О НЕКОТОРЫХ АСПЕКТАХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КОВША ДРАГЛАЙНА СО ВЗОРВАННОЙ СКАЛЬНОЙ ПОРОДОЙ

Процесс образования и роста трещин в металлических конструкциях экскаваторов при разработке взорванной горной массы связан с серьезными авариями. Разрушение металлоконструкций происходит только при достижении трещинами критических размеров. До этого момента развитие трещины является стабильным, и разрушение невозможно. Однако остановки экскаваторов с целью заварки трещин, в большинстве случаев, производятся задолго до достижения последними своих критических размеров. Это ведет к излишне частым постановкам экскаваторов на ремонт, что вызывает снижение их производительности. В то же время эксплуатация без ремонта конструкций с трещинами может привести к серьезным авариям, устранение последствий которых является весьма дорогостоящим.

В этой связи потребовалось

разработать методику, использование которой позволяет избежать серьезных аварий металлических конструкций экскаваторов с одной стороны и излишне частых простоев – с другой. В конечном счете, это способствует повышению производительности экскаваторов.

В ходе экспериментов, проведенных на угольных разрезах Кузбасса, выявлены зоны в металлических конструкциях экскаваторов, где процесс трещинообразования протекает наиболее интенсивно [1, 2]. Известные зависимости механики разрушения позволяют рассчитать время развития трещин в этих зонах до момента достижения ими критических размеров. При расчете необходимы данные о распределении размахов напряжений в зонах трещинообразования. Поэтому одним из ключевых звеньев методики являлась разработка расчетных моделей, описывающих режим

нагружения металлоконструкций экскаваторов, с целью получения таких распределений. Наиболее сложным является математическое описание процесса нагружения металлоконструкций во время движения ковша экскаватора под действием тяговых усилий. При этом нагрузки передаются на металлоконструкции с ковшом посредством тяговых канатов. Изменение усилий в тяговых канатах вызвано изменением усилия сопротивления движению ковша в развале. Это сопротивление обусловлено воздействием на ковш системы сил и поэтому включает в себя несколько составляющих. Однако не все из них оказывают значительно влияние на процесс циклического изменения внутренних усилий и напряжений в металлоконструкциях. Путем анализа результатов проведенных исследований и данных, полученных из литературных источни-

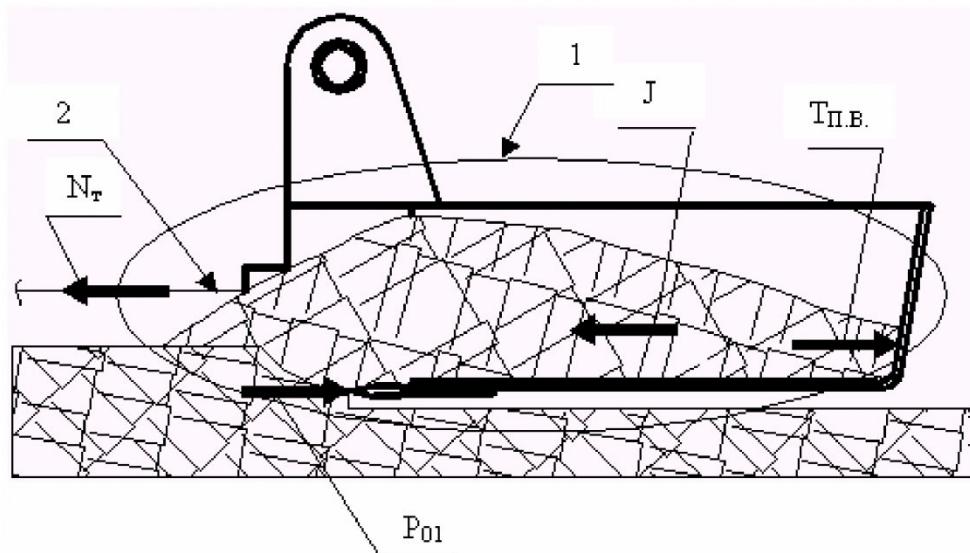


Рис. 1. Нагрузки, действующие на ковш при его движении под действием усилий в тяговых канатах, учитываемые в рамках методики.

N_T – усилие в тяговом канате; P_{01} – горизонтальная составляющая усилия сопротивления внедрению режущей кромки в развал; J – сила инерции; $T_{П.В.}$ – усилие сопротивления движению ковша, обусловленное наличием призмы волочения; 1 – сыпучее тело, включающее призму волочения; 2 – тяговый канат

ков из числа нагрузок, действующих на ковш, выявлены те, которые наиболее существенно влияют на величину размахов напряжений, а следовательно и на долговечность экскаваторов [3]. Схема этих нагрузок изображена на рис. 1. К числу нагрузок, существенно влияющих на режим нагружения ковша и металлоконструкций экскаватора в целом, относится, в первую очередь, усилие сопротивления внедрению режущей кромки ковша в развал взорванной породы. В рамках расчетной модели, описывающей процесс изменения этого усилия, взаимодействие режущей кромки с развалом рассматривается как последовательность ее соударений с кусками различных фракций [4]. При этом соударение представляет собой процесс динамического вдавливания штампа во взорванную горную массу. В связи с динамическим характером взаимодействия ковша с развалом необходим учет сил инерции. Это осуществляется в соответствии с принципом Даламбера.

Разработанная расчетная модель была апробирована в лабораторных условиях на установке, моделирующей систему «развал – ковш», и на разрезах «Кедровский» и «Чернигов-



Рис. 2. Устройство для измерения усилий в канате

ский» [5].

В ходе лабораторных испытаний осуществлялось волочение посредством канатов моделей ковша по щебеночной насыпи, имитирующей развал. Коэффициент разрыхления щебня изменялся от 1,55 до 1,27 путем трамбования. Гранулометрический состав насыпи варьировался путем рассеивания щебня на фракции и последующего пофракционного дозирования. При этом диаметр среднего куска изменялся от 2,7 до 7,5 см. Использовались модели ковшей с размерами 160x120x90 мм, 320x240x180

мм, 640x480x360 мм. Для перемещения ковша применялась электрическая лебедка. При этом производились измерения усилия растяжения в тяговом канате. С этой целью использовалось устройство из двух стальных пластин, соединенных болтами, между которыми проpusкался тяговый канат (рис. 2). Натяжение каната вызывало изгиб пластин. В растягиваемой зоне пластины наклеивался тензорезистор, соединенный со шлейфовым осциллографом. По полученным значениям усилий определялись напряжения в канате.

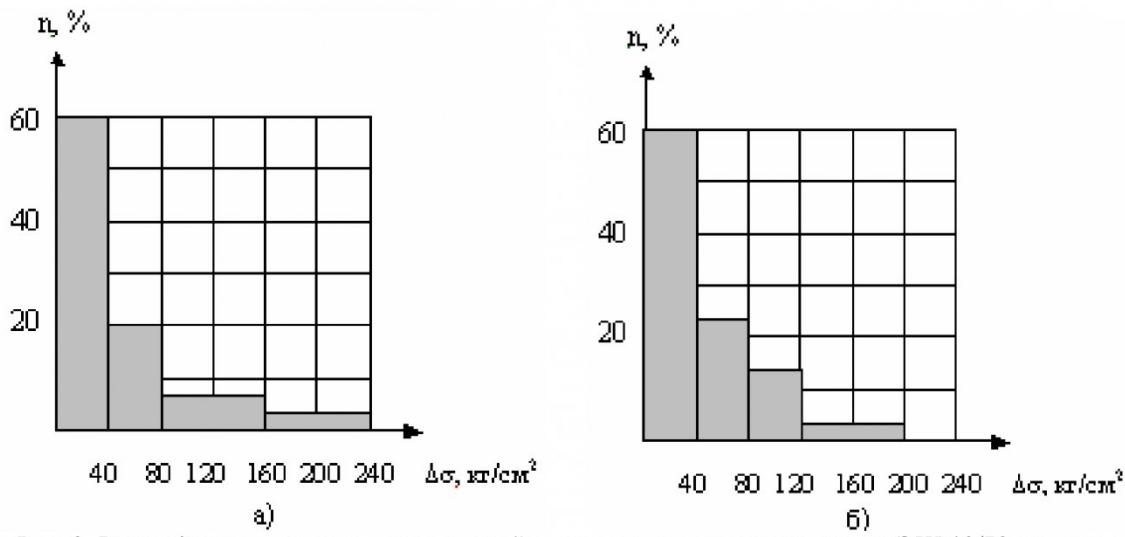


Рис. 3. Распределение размахов напряжений в тяговом канате экскаватора ЭШ 10/70 при разработке взорванной горной породы с диаметром среднего куска $d_{Cp}=0,4$ м.
а) – экспериментальное; б) – полученное с помощью расчетной модели

При проведении экспериментов в условиях угольных разрезов осуществлялись измерения усилий в тяговых канатах способом, описанным выше, с последующим вычислением напряжений.

Производилось сравнение распределений размахов напряжений, полученных в результате расчетов и эксперимента с

нию ковша в развале, обусловленная наличием призмы волочения, (далее $T_{\text{П.В.}}$) непосредственно передается на заднюю стенку ковша (рис. 1). Это подтверждается нулевыми значениями деформаций задней стенки при отсутствии призмы волочения. Установлено, что начало периода, расхождения в расчетном и экспериментальном

лассь как часть сыпучего тела, которое, кроме нее, состоит из взорванной породы, находящейся в ковше (см. рис.1).

Это тело препятствует движению ковша в развале из-за наличия внутреннего трения в нем и сопротивления его перемещению относительно развала. Тело, состоящее из породы, находящейся в призме волочения и ковше, обладает податливостью. Эта податливость обусловлена возможностью взаимного смещения слагающих его кусков. Сопротивление такому смещению уменьшается с увеличением коэффициента разрыхления. Поэтому внутри рыхлого сыпучего тела оно меньше, чем в зоне контакта рыхлого сыпучего тела с плотным. Такой зоной является область контакта призмы волочения (рыхлого тела) с развалом (плотным телом).

Разрушение структуры взорванной горной массы, как сыпучего материала, сопровождается ее разрыхлением до критической плотности, то есть плотности, при которой происходит пластическое течение сыпучего материала. Значение коэффициента разрыхления породы, соответствующее этой плотности, далее будем называть так же критическим. Согласно проведенным исследованиям, при этом происходит вытеснение разрушенной части сыпучей среды вверх [7] (рис. 4).

На начальной стадии черпания эта часть сыпучего материала сразу перемещается в

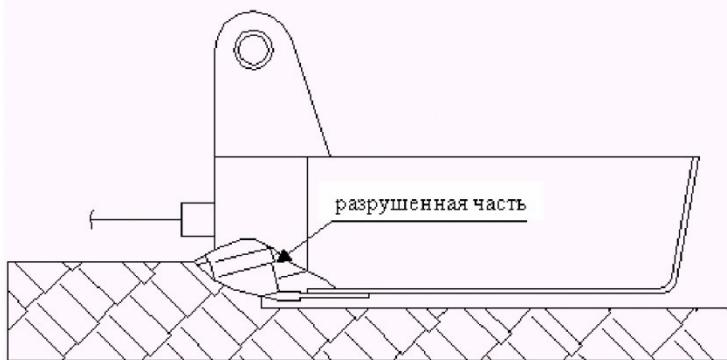


Рис. 4. Вытеснение разрушенной части сыпучей среды

использованием критерия Вилкоксона. При этом рассматривались две выборки. Значения частот возникновения размахов напряжений, определенные расчетным путем, являлись элементами первой выборки, определенные экспериментально – второй.

Применительно к начальной стадии черпания был сделан вывод об адекватности модели. В дальнейшем частоты возникновения равных размахов, полученных в результате расчета и экспериментально, отличались (рис. 3).

Расхождения расчетных и экспериментальных результатов (см. рис. 3) объяснялись тем, что в расчетах не учитывалось влияние призмы волочения на циклическое изменение усилия сопротивления движению ковша в развале. С целью уточнения методики были выполнены дополнительные исследования. Для этого в процессе экскавации были проведены одновременные измерения деформаций задней стенки ковша и усилий в тяговых канатах. Составляющая усилия сопротивления движе-

распределениях размахов напряжений, совпадает с возникновением деформации задней стенки, а значит и с началом образования призмы волочения.

Уточнение расчетной модели с целью учета влияния призмы волочения на режим нагружения металлоконструкций экскаватора потребовало рассмотрения механизма взаимодействия ее с ковшом. Анализ этого механизма производился на основе общих положений механики сыпучей среды и результатов исследований поведения взорванной горной массы [6]. Призма волочения рассматрива-

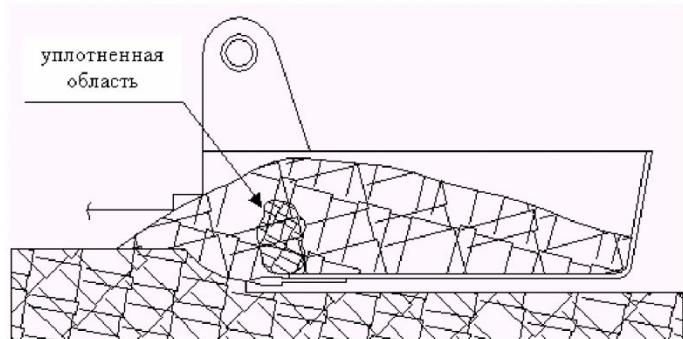


Рис. 5. Уплотненное ядро в сыпучем теле, состоящем из взорванной горной массы в ковше и призме волочения

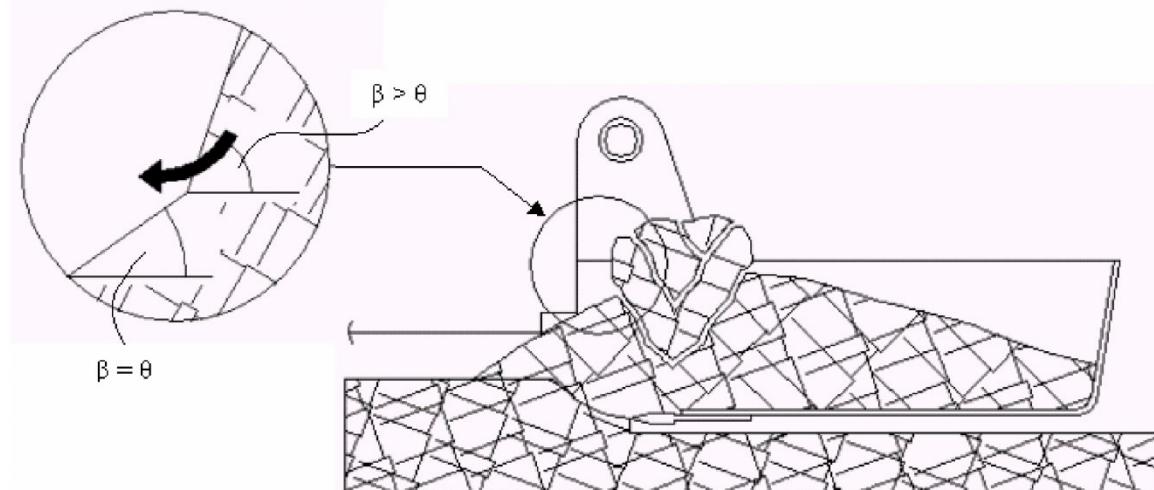


Рис. 6. Разрушение уплотненной области: β – угол наклона поверхности призмы волочения к горизонту, θ – угол естественного откоса.

ковш. В дальнейшем (на этапе, когда днище ковша закрывается горной породой) разрушенная режущей кромкой часть развала образует призму волочения. В соответствие с выполненными исследованиями [7], в области контакта сыпучего материала, находящегося в ковше и в призме волочения, происходит его уплотнение (рис. 5).

Это объясняется, по мнению авторов, постоянным вытеснением сыпучей среды в указанную область, которую далее будем называть уплотненным ядром. Из-за относительно низкого коэффициента разрыхления взорванной горной массы в уплотненном ядре и зоне контакта призмы волочения с развалом взаимное смещение кусков в них затруднено, вследствие чего призма волочения является своеобразным упором для взорванной горной массы, находящейся в ковше.

Коэффициент разрыхления в уплотненном ядре наиболее близок к критическому, поэтому именно в этой области достигается степень уплотнения, при которой происходит разрушение сыпучего тела, состоящего из взорванной горной массы в призме волочения и внутри ковша. В результате этого разрушения происходит вытеснение взорванной горной массы, составляющей уплотненное яд-

ро. Часть переместившейся таким образом породы переходит в ковш, другая часть – в призму волочения. В результате описанного перемещения горной массы в призму волочения высота последней увеличивается, что приводит к превышению угла естественного откоса сыпучей среды. Это вызывает потерю устойчивости откоса, являющегося открытой поверхностью призмы волочения (рис. 6).

В этой связи можно утверждать, что перемещение призмы волочения происходит не путем «скольжения» ее по поверхности развала, а путем постепенного «сыпания» по мере продвижения ковша.

Таким образом, составляющая сопротивления движению ковша в развале, обусловленная наличием призмы волочения, в процессе черпания циклически изменяется. Происходит чередование периодов, когда «срезаемый слой» взорванной горной массы, способен воспринимать сжимающую нагрузку, возникающую в результате движения ковша в развале, и периодов, когда под воздействием указанной нагрузки в этом слое происходит разрушение. Период сопротивления слоя взорванной породы нагрузке характеризуется постоянством объема взорванной горной массы в ковше и нарастанием уси-

лия препятствующего движению ковша в развале, а следовательно, и усилий в тяговых канатах. При этом происходит накопление взорванной горной породы перед ковшом, то есть увеличивается призма волочения. Период разрушения сопровождается увеличением объема породы в ковше и спадом усилия сопротивления внедрению ковша в развал.

Величина усилия $T_{\text{П.В.}}$ определяется на основании решения задачи о динамическом вдавливании штампа в крупнокусковое сыпучее тело. Нагрузка, под действием которой деформируется рассматриваемое сыпучее тело, передается на него посредством задней стенки ковша, поэтому именно она рассматривается в качестве штампа.

Учет наличия призмы волочения в методике позволяет использовать ее для описания изменения усилия сопротивления внедрению ковша во взорванную породу на протяжении всего периода взаимодействия ковша с развалом, а не только на начальном этапе. Ориентировочные расчеты долговечности металлоконструкций экскаваторов выявили возможность без риска аварий продлять сроки эксплуатации между ремонтами до нескольких месяцев. Увеличение межремонтного

периода предотвращает рост концентрации напряжений в зонах сварных шовов (из-за уменьшения числа их переварок), ведет к сокращению време-

ни ремонтных простоев и, таким образом, способствует повышению рентабельности работы экскаваторов. Это особенно актуально в связи с выра-

боткой многими экскаваторами угледобывающих предприятий Кузбасса своего нормативного ресурса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Паначев И.А., Насонов М.Ю., Антонов К.В. Обоснование числа циклов нагружения металлоконструкций экскаваторов при наличии в них трещиноподобных дефектов. // Труды международной научно-практической конференции «Энергетическая безопасность России: Новые подходы к развитию угольной промышленности.» - Кемерово, 16-19 сентября 2003, с. 65-69.
2. Паначев И.А., Насонов М.Ю., Беленко М.В. Трещинообразование в металлоконструкциях экскаваторов. - Известия вузов. Горный журнал. 2000, № 5, с. 117-122.
3. Музгин С.С. Экскавация крупнокусковой горной массы. – Алма-Ата: Наука. 1973. 121 с.
4. Паначев И.А., Насонов М.Ю., Антонов К.В. К разработке модели взаимодействия режущей кромки ковша шагающего экскаватора со взорванной горной породой. – Кемерово: Вестн. КузГТУ. 2004, №2, с. 37-40.
5. Паначев И.А., Насонов М.Ю., Антонов К.В. О стопорении ковшей шагающих экскаваторов при взаимодействии со взорванной горной породой. – Кемерово: Вестн. КузГТУ. 2003, №6, с. 47-49.
6. Паначев И.А., Насонов М.Ю., Антонов К.В. О поведении крупнокусковой сыпучей среды при вдавливании в нее жестких штампов. – Кемерово: Вестн. КузГТУ. 2004, №1, с. 9-12.
7. Зеленин А.Н. Основы разрушения грунтов механическими способами. – М.: Машиностроение, 1968. 376 с.
8. Гольдштейн М.И. Механические свойства грунтов. – М.: Стройиздат. 1973. 375 с.
9. Цытович Н.А. Механика грунтов. – М.: Высшая школа. 1983. 288 с.

□ Автор статьи:

Паначев
Иван Андреевич
- докт. техн. наук, проф., зав. каф.
сопротивления материалов

Насонов
Михаил Юрьевич
- канд. техн. наук, доц. каф. сопро-
тивления материалов

Антонов
Кирилл Викторович
- старший преп., каф.
сопротивления материалов

УДК 622.271.4

И.А. Паначев, М.Ю. Насонов, К.В.Антонов

О ВЛИЯНИИ ПРИЗМЫ ВОЛОЧЕНИЯ НА РЕЖИМ НАГРУЖЕНИЯ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ ДРАГЛАЙНОВ

Режим нагружения всех металлических конструкций экскаватора определяется процессом изменения усилия сопротивления внедрению ковша во взорванную горную массу. Важным обстоятельством, влияющим на характеристики процесса нагружения (амплитуду и частоту изменения усилия), является наличие призмы волочения.

Влияние процессов, связанных с образованием призмы волочения, на изменение усилия

сопротивления внедрению ковша в мелкозернистую сыпучую среду исследовано достаточно подробно [1]. Однако взорванная горная порода представляет собой крупнокусковую среду [2]. Использование для нее результатов, полученных для мелкозернистых материалов, не представляется возможным из-за трудности определения для взорванной горной массы необходимой эмпирической величины - удельного сопротивления срезаемого пласта продольному

сжатию. В этой связи были проведены исследования указанных процессов в случае крупнокусковой среды. Изучена качественная сторона механизма взаимодействия ковша шагающего экскаватора с призмой волочения. Дальнейшие исследования были направлены на выявление количественных зависимостей, позволяющих установить влияние призмы волочения на амплитуду и частоту усилий и напряжений в металлоконструкциях экскаваторов.