

зонах бронекорпусов. Таким образом, нельзя выделить доминирующую, опасную с точки зрения возможного резонанса, частоту возбуждения. Соответственно, необходимо принимать в расчет не одну из частот, а некоторый их интервал.

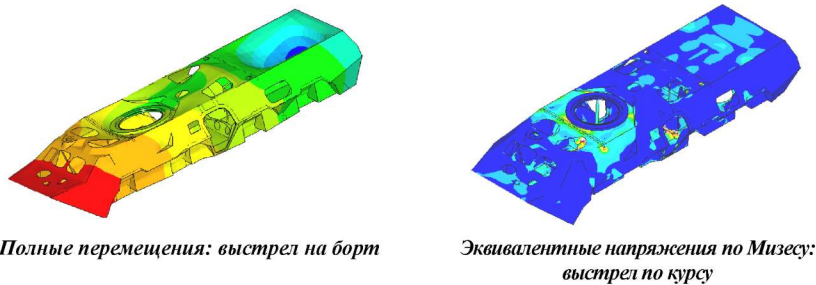


Рис.4 – Картины распределения компонент НДС в корпусе макета БТР-80

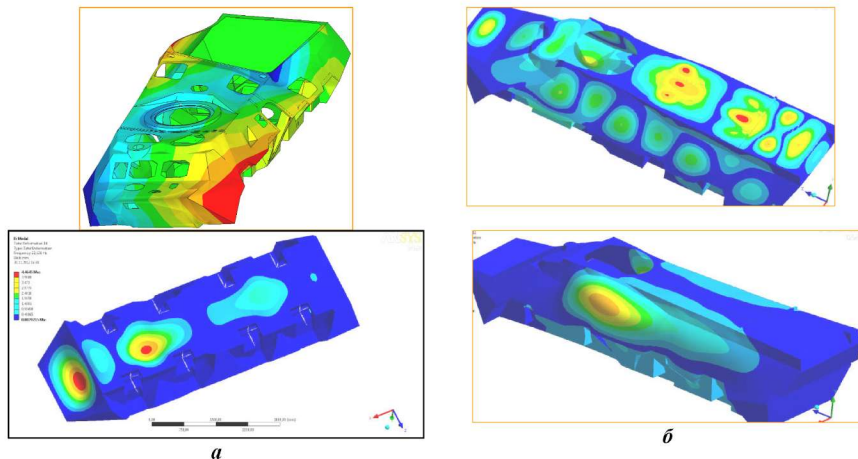


Рис. 5 – Примеры собственных форм колебаний макетов бронекорпусов:  
а – БТР-80; б – БТР-3

3. При преодолении препятствий на местности усилия от действия динамических усилий от подвески приводят к напряженному состоянию, локализованному в днище и элементах нижнего пояса внутреннего силового каркаса. В то же время усилия от отдачи создают напряженное состояние, локализованное в подбашенном листе бронекорпуса и элементах усиления панелей его верхней проекции.

Отмеченные особенности дают

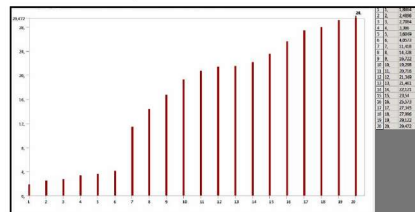


Рис. 6 – Спектр собственных частот колебаний макета бронекорпуса БТР-3 (Гц)

основание для обоснования проектных решений с точки зрения достижения заданных ТТХ проектируемых ЛБМ. То обстоятельство, что данные особенности установлены для макетов, а не натуральных конструкций бронекорпусов, не снижает их востребованности, так как отражает качественные особенности поведения целого множества подобного типа конструкций. Кроме того, полученные результаты являются отправной точкой и ориентиром для анализа и синтеза натуральных конструкций бронекорпусов, что является направлением дальнейших исследований.

**Список литературы:** 1. Александров Е.Е. Об особенностях построения математической модели совместного движения башенки и боевого модуля как объектов регулирования в комплексах управления вооружением для легкобронированных боевых машин / Е.Е. Александров, В.А. Кононенко, С.Н.Беляев [и др.] // Механiка та машинобудування. – 2007. – №2. – С. 3-27. 2. Александров Е.Е. Динамика транспортно-тяговых колесных и гусеничных машин / Е.Е. Александров, Д.О. Волонцевич, А.Т. Лебедев. – Харьков: ХАДИ, 2001. – 642 с. 3. Волонцевич Д.О. Спосiб пiдвищення допустимої швидкостi ведення вогню з ходу при русi бойових машин по пересiченiй мiсцевостi / Д.О. Волонцевич, I.В. Костяник, Д.I. Камфенкель // Механiка та машинобудування. – 2011. – №2. – С. 94-102. 4. Гриценко Г.Д. Специализированная система автоматизированного анализа прочности и жесткости корпусов легкобронированных машин для выбора их рациональных конструктивных параметров при импульсном воздействии от усиления стрельбы / Г.Д.Гриценко, С.Т.Бруль, А.В.Ткачук // Вестник НТУ «ХПИ». Тем. вып.: Машиноведение и САПР. – 2006. – №3. – С.10-20. 5. Гриценко Г.Д. Экспериментальное исследование элементов корпусов БТР-80 / Г.Д. Гриценко, А.Н. Малакей, Н.А. Ткачук // Вестник НТУ «ХПИ». Тем. вып.: Машиноведение и САПР. – 2006. – №33. – С.23-27. 6. Пелешко Є.В. Комплексне дослідження мiцностi та жорсткостi корпусiв транспортних засобiв спецiального призначення / Є.В. Пелешко, М.А. Ткачук, С.Т. Бруль [и др.] // Вестник НТУ «ХПИ». Тем. вып.: Транспортное машиностроение. – 2010. – №39. – С. 116-131.

Поступила в редколлегию 30.11.2012

УДК 621.01: 539.3

**П.В. ЧУРБАНОВ**, нач. бюро КОГКО НТК ЧАО „АзовЭлектроСталь”, Мариуполь

## ПРЕДПОСЫЛКИ СОЗДАНИЯ И ПРИНЦИПЫ РАБОТЫ ОТВАЛООБРАЗОВАТЕЛЕЙ

У статті описані результати аналізу конструкції і умов експлуатації отвалоперевантажувачів. Вони будуть використані в подальших дослідженнях напружено-деформованого стану силових елементів цих машин.

**Ключові слова:** отвалоперевантажувач, аналіз конструкції, напружено-деформований стан, силові елементи.

В статье описаны результаты анализа конструкции и условий эксплуатации отвалоперегрузателей. Они будут использованы в дальнейших исследованиях напряженно-деформированного состояния силовых элементов этих машин.

**Ключевые слова:** отвалоперегрузатель, анализ конструкции, напряженно-деформированное состояние, силовые элементы.

© П.В. Чурбанов

The results of analysis of construction and exploitation conditions of spreaders are described in this paper. They will be used in further researches of stressed-deformed state of their power elements.

**Keywords:** spreader, analysis of construction, stressed-deformed state, power elements.

**Введение.** Современные крупногабаритные тяжело нагруженные машины рассчитаны, как правило, на длительный срок работы в сложных эксплуатационных условиях. При этом, кроме силовых, температурных, динамических нагрузок, на первый план выдвигаются вопросы коррозионного утонения (нормативно до 20-25% от номинальной толщины), длительные и прерывистые сроки эксплуатации (десятки лет), многоцикловый характер нагружения.

Особенно это характерно для уникальных машин, изготавливаемых единично или мелкими сериями. Эти машины зачастую проектируют и рассчитывают без учета всего комплекса значимых факторов, действующих одновременно, во взаимовлиянии и стохастически. Это вызвано тем, что ни устоявшихся норм, ни методик расчета, ни обширных статистических данных по рассматриваемым машинам в силу их уникальности нет. При этом сами условия эксплуатации этих машин (тип технологических операций, тип рабочего груза, климатические условия) в совокупности с действием стохастических компонент диктует то или иное текущее техническое состояние различных элементов этих машин, а значит, того или иного вида ремонта.

Таким образом, кроме анализа реакции элементов машин на совокупность эксплуатационных факторов, требуется и анализ на последствия от проведения того или иного ремонта с целью обоснования актуального его варианта.

Представленный выше комплекс аргументов обосновывает актуальность для машиноведения и важность для машиностроения разработки методов расчета параметров машин, обеспечивающих их длительную нагрузочную способность, адаптируемость к различным условиям эксплуатации и ремонтнопригодность. Одной из составляющих задач исследований является анализ конструктивных решений и условий нагружения машин рассматриваемого класса на примере отвалообразователей.

**Условия работы.** С увеличением глубины карьеров наблюдается ухудшение горнотехнических условий. При добыче руды на глубине 250 – 360 м и более идет увеличение объемов вскрышных работ, расстояний транспортирования горной массы по горизонтали и на подъем, усложнение схем транспортных коммуникаций, снижение производительности горно-транспортного оборудования, что, как следствие, приводит к ухудшению технико-экономических показателей работы карьеров. Факторы, обуславливающие переход на другой вид транспорта в карьерах, приведены в табл. 1.

Данные факторы создали все условия для внедрения, начиная с 70-х годов прошлого века [1-17], поточной либо циклично-поточной технологии.

В качестве выемочного оборудования применяются экскаваторы с последующей погрузкой на автомобильный транспорт и далее на подвижные бункеры – питатели забойных конвейеров. После получения требуемого куска породы (операция дробления выполняется при необходимости) вскрышная

порода (горная масса) системой ленточных конвейеров передается на отвалообразователь, который укладывает ее в отвал. Формирование отвала может производиться как с верхней, так и с нижней отсыпкой. Цикл работы отвалообразователя состоит из комбинированной работы механизма передвижения и поворота машины по мере формирования отвала, с последующим выходом на новое рабочее положение в соответствии с кривой отсыпки, заложенной в эксплуатационных характеристиках. Тип отвала (верхний либо нижний) определяется положением отвальной консоли [5-7].

Таблица 1 – Факторы, обуславливающие переход на другой вид транспорта в карьерах

Горнотехнические	увеличение производственной мощности карьера; рост глубины карьера; изменение дальности транспортировки; изменение физико-механических свойств горной массы
Технологические	изменение схемы вскрытия и режима вскрышных работ; изменение рабочих параметров карьера; изменение системы разработки; изменение технологии усреднения и переработки руды
Технические	модернизация средств механизации и автоматизации транспорта; появление новых средств транспортирования; ограничение возможности транспортных коммуникаций; моральный износ горно-транспортного оборудования
Экономические и социальные	рост себестоимости перевозок; снижение производительности труда; ухудшение санитарно-гигиенических условий; необеспеченность оборудованием, квалификационными кадрами и т.п.

Многообразие мест применения отвалообразователей, а также различия требований, предъявляемых к эксплуатационным характеристикам, создало предпосылки для образования множества конструктивно различных схем машин данного класса.

Отвалообразователи классифицируются по следующим признакам:

- *технологическому* – для транспортных и транспортно-отвальных систем разработки;
- *конструктивному* – на одноагрегатные и двухагрегатные;
- *характеристике транспортируемой породы* – на отвалообразователи для мягких пород, пород с крепкими включениями и скальных пород;
- *климатическому признаку* – для умеренных и суровых климатических условий;
- *типу ходовых устройств* – на машины с шагающе-рельсовым; гусеничным и рельсовым ходом;
- *конструкции подвески приемной стрелы* – на отвалообразователи с канатной подвеской стрелы; с опиранием стрелы на автономную ходовую часть и с

опиранием приемной стрелы на отвальный конвейер.

Основные технические характеристики отвалообразователей приведены в табл. 2. Основные технические требования, предъявляемые к отвалообразователям, следующие:

- оборудование машин должно нормально работать в интервале „рабочих” температур от минус 40°C до плюс 40°C;

- расчетная – предельная скорость ветра, при которой машина должна находиться в рабочем состоянии, – 20 м/с;

- расчет отвалообразователей выполняется на сейсмичность 7 баллов по 12-балльной шкале [3, 4, 10].

### Конструктивные

**решения.** На территории стран СНГ широкое применение получили отвалообразователи как отечественного, так и импортного производства. Анализ известных конструктивных схем показывает, что, несмотря на уникальность и индивидуальность каждого типа машин, отвалообразователи отличаются сходством многих технических решений компоновки и исполнения основных узлов. Ниже представлены основные конструктивные отличия машин, присущие различным производителям (рис. 1-4).

Отличительными признаками отвалообразователей немецкого производства серии ARs-B (см. рис. 1) являются:

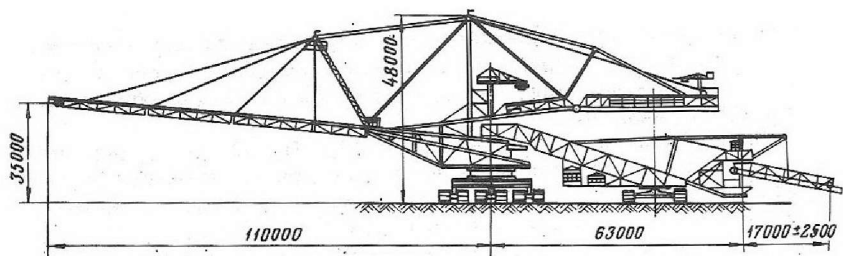


Рис. 1 – Конструктивная схема отвалообразователя ARs-B.8800.110

Таблица 2 – Основные технические характеристики отвалообразователей

№	Показатели	Ед. изм.
1.	Теоретическая производительность	м <sup>3</sup> /ч
2.	Максимальный радиус отсыпки	м
3.	Высота отсыпки	м
4.	Длина приемной консоли	м
5.	Длина отвальной консоли	м
6.	Угол наклона отвальной консоли	град.
7.	Ширина конвейерной ленты	м
8.	Скорость конвейерной ленты	м/с
9.	Тип ходовой части	-
10.	Допустимый уклон трасы при движении	град.
11.	Допустимый уклон площадки при работе машины	град.
12.	Среднее удельное давление на грунт	кг/см <sup>2</sup>
13.	Максимальный размер куска (транспортируемого груза)	мм
14.	Установленная мощность двигателей	кВт
15.	Подводимое напряжение	В
16.	Масса	кг

- одно- либо двухблочное исполнение машины. Под двухблочным исполнением подразумевается наличие основного агрегата (собственно отвалообразователя) и соединительного моста (фермы), снабженных отдельными ходовыми механизмами, соединительный мост может включать в себя один или два конвейера;

- отвальная стрела, а также стрела противовеса размещены на поворотной части основного агрегата, которая опирается на шариковый опорно-поворотный круг гусеничного ходового устройства, благодаря чему отвальный конвейер является полноповоротным;

- конвейеры высокопроизводительных отвалообразователей (5500 м<sup>3</sup>/ч и выше) оборудованы канатным ставом и шарнирными роликоопорами, что значительно снижает динамические нагрузки при транспортировании крупнокусковых грузов;

- все отвалообразователи типового ряда снабжены гусеничными ходовыми устройствами. Ходовое устройство основного агрегата в зависимости от его параметров состоит из двух или шести стандартных моногусениц с индивидуальным приводом.

Конструкция отвалообразователей серии ZP, выпускаемых Чешской Республикой (рис. 2), – двухагрегатная, в ее состав входят основной агрегат с отвальной консолью и соединительный мост, имеющий собственное ходовое устройство. Машины этой группы конструктивно состоят из двух частей: основного агрегата и соединительного моста, опирающегося одним концом на гусеничную тележку. Точка опоры второго конца моста находится на оси поворота отвальной стрелы отвалообразователя.

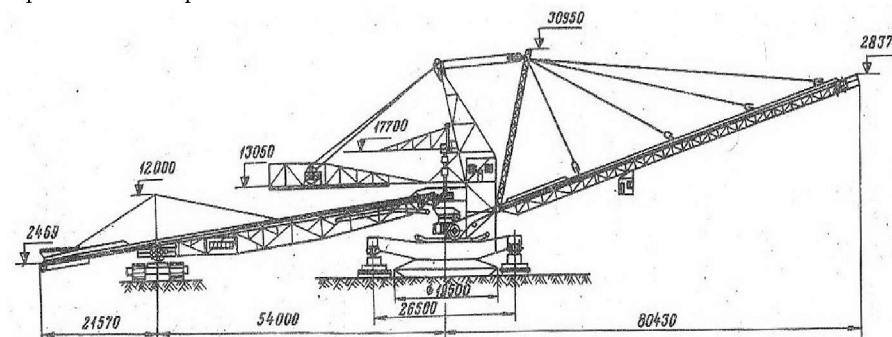


Рис. 2 – Конструктивная схема отвалообразователя ZP-5500

Отвальная стрела выполнена в виде жесткой пространственной консоли. Вантовая подвеска отсутствует. Консоль противовеса расположена под соединительным мостом, являясь продолжением отвальной стрелы. На консоли противовеса находятся трансформаторная станция, щит управления электродвигателями, слесарная и электротехническая мастерские. Отвальная стрела и соединительный мост установлены под постоянными углами (соответственно 10 и 16°), не изменяющимися в процессе работы.

Отличительной чертой отвалообразователей этого типа является наличие

специфического шагающего ходового механизма, позволяющего машине перемещаться в любом направлении, даже во время работы. В рабочем положении отвалообразователь опирается на кольцевую платформу, что способствует повышению его устойчивости. В центральной части платформы расположена пята, которая соединена с мощными гидроцилиндрами, осуществляющими передвижение агрегата. Конвейерные установки снабжены конвейерами-подборщиками, очистными устройствами для лент и барабанов.

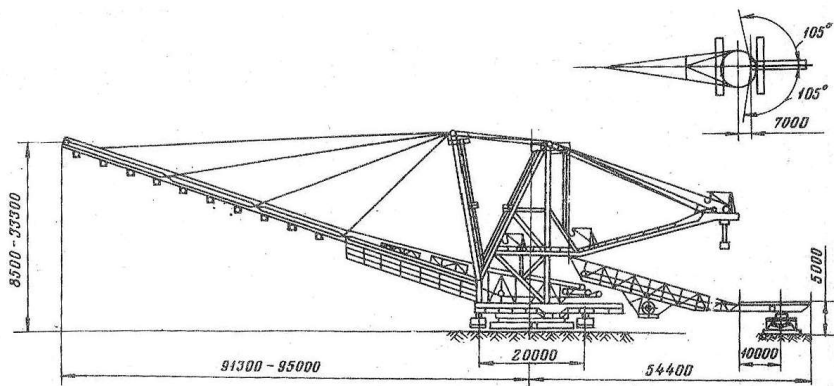


Рис. 3 – Конструктивная схема отвалообразователя ОНР-5000/95

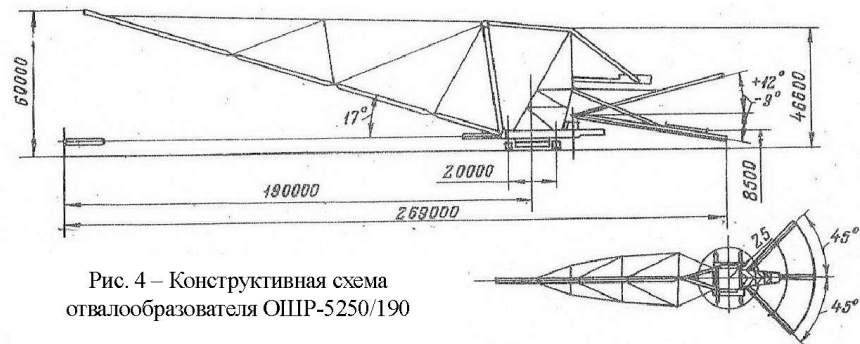


Рис. 4 – Конструктивная схема отвалообразователя ОНР-5250/190

Отвалообразователи, выпускаемые в Польше серии ZGOT, можно отнести к группе типовых машин небольшой и средней производительности. Отвалообразователи типового ряда характеризуются выгодными энергетическими и весовыми показателями и хорошо зарекомендовали себя при ведении работ на карьерах.

Конструкция гусеничной ходовой части обеспечивает высокую маневренность агрегата, сравнительно низкое давление на грунт и возможность работы в условиях сложного рельефа местности. Питание отвалообразователя производится от гибкого свободно проложенного кабеля, напряжение питания 500 В. Ходовая часть отвалообразователей состоит из двух гусениц, снабженных индивидуальным при-

водом. Ток напряжением 6 кВ подводится при помощи гибкого кабеля. Освоен также выпуск отвалообразователей аналогичных параметров на рельсовом ходу.

Приемная стрела шарнирно подвешена к несущей конструкции отвалообразователя, другим концом она опирается на раму разгрузочной тележки.

Близкие конструктивные решения машин, предназначенных как для поточной, так и для циклично-поточной системы разработки, используются и при создании отечественных отвалообразователей (см. рис. 3, 4). В существующих машинах приемная консоль либо подвешивается к надстройке отвалообразователя, либо опирается на опорную тележку, расположенную на конвейерной линии. И в том, и в другом случае конструкция отвалообразователя является одноагрегатной. Выбор типа опирания приемной консоли определяется в первую очередь технологической схемой работы отвалообразователя.

Наиболее ответственными узлами отвалообразователей являются: опорно-ходовая часть, отвальная и приемная консоли, а также консоль противовеса. При проектировании консоли отвалообразователя учитывается воздействие на нее вертикальных и горизонтальных сил. Боковые силы воспринимаются дополнительными элементами, выполненными обычно в виде ферм и оттяжек, рассчитываемых с учетом воздействия только этих сил. При больших линейных параметрах стрел ветер и составляющая веса от уклона создают значительные поперечные силы и изгибающие моменты, что вызывает большой расход металла – для изготовления металлоконструкции, которая бы их выдерживала.

В СССР разработана дельта-стрела, в которой восприятие боковых нагрузок основано на концентрации силового потока и комбинации нагружения. При применении стрелы, выполненной с учетом принципа концентрации силового потока, вертикальные и горизонтальные нагрузки воспринимаются одними и теми же элементами. Это достигается изготовлением нижнего пояса стрелы в виде трубчатой конструкции, удерживаемой системой соединенных в треугольники вант и жестких стоек. При подъеме стрелы ванты автоматически натягиваются под действием собственного веса стрелы, что делает их более жесткими и дает возможность воспринимать боковую нагрузку. При использовании принципа комбинации нагружения учитывается рабочее и нерабочее нагружение дельта-стрелы, тогда как для боковых ферм традиционной конструкции учитывается только один вид нагружения – предельно допустимые нагрузки.

Конструкция приемной стрелы рассчитывается с учетом технологических схем применения отвалообразователя, в частности, расстояния от места перегрузки транспортируемого материала с предыдущей машины до места стояния отвалообразователя. При небольших расстояниях стрела подвешивается к верхнему строению машины либо опирается на опорную тележку конвейерной линии, при значительных расстояниях приемная консоль опирается на собственную ходовую тележку, образуя вместе с отвалообразователем двухагрегатную конструкцию.

При выборе конструкции приемной стрелы необходимо учитывать возможность заштыбовки конвейера, а при определении размеров зоны погрузки, в которую поступает горная масса с разгрузочной консоли перегружателя, – динамиче-

ские перемещения конца консоли.

Для ограничения колебаний на конце стрелы перегружателей рекомендуется устанавливать динамический виброгаситель и другие устройства.

Консоль противовеса, компенсирующая опрокидывающий момент, создаваемый отвальной стрелой и транспортируемым грузом, выполняется в виде пространственной фермы, которая может быть шарнирно соединена с верхним строением отвалообразователя, а чаще – жестко закреплена на нем. На консоли противовеса, как правило, размещаются лебедки механизма подъема отвальной консоли, вспомогательные помещения, грузоподъемные средства и т.д.

Широкое применение получили консоли противовеса, конструктивно совмещенные с верхней надстройкой отвалообразователей и опирающиеся непосредственно на поворотную платформу, что позволяет снизить массу отвалообразователя.

Приводные устройства конвейеров должны отвечать следующим требованиям: обеспечение плавности запуска конвейера в целях уменьшения динамических нагрузок на ленту, предотвращение перегрузок приводных агрегатов, исключению пробуксовок в пусковой период, обеспечению низкой скорости конвейерной ленты для прокрутки конвейера при простоях комплекса в условиях низких температур и др. Плавный запуск конвейера возможен при обеспечении мягких механических характеристик двигателя или применении различных муфт, смягчающих данные характеристики.

Ленточные конвейеры обычно составляют единый комплекс с натяжными устройствами. По принципу действия натяжные устройства делятся на три группы: поддерживающие устойчивое положение натяжного барабана (винтовые, лебедочные), постоянное натяжение ленты (грузовые, лебедочно – грузовые), а также изменяющие натяжение в зависимости от тягового усилия на ленте (автоматические).

Автоматические натяжные устройства наиболее эффективны, так как позволяют работать с наименьшим допустимым натяжением ленты. Это уменьшает нагрузку на ленту и предотвращает пробуксовку ее на барабане [1-3, 10].

Анализируя особенности эксплуатации и конструктивные характеристики рассмотренного типа машин, можно сделать следующие выводы:

- отвалообразователи являются высоконагруженными крупногабаритными машинами (ВКМ), имеющими уникальную конструкцию, как правило единичного производства и предназначенными для работы в тяжелых условиях, в течении длительного срока эксплуатации;
- металлоконструкция отвалообразователей подвергается комбинированному цикловому воздействию сочетания целого ряда различных нагрузок;
- специфика условий эксплуатации обуславливает изменения как геометрических параметров конструкции, так и механических свойств материалов, использованных при изготовлении. Это обусловлено коррозионным и механическим изнашиванием, а также „деградацией свойств” металла непосредственно в процессе эксплуатации;
- являясь основным звеном горнодобывающих комплексов, основанных на поточной технологии, конструкция отвалообразователей конструктивно должна

сводиться к минимуму статистику внеплановых остановок для выполнения ремонтных операций, иметь класс ремонтпригодности всех наиболее подверженных разрушению узлов с кратчайшим сроком восстановления.

На основании вышеперечисленного в качестве объекта для изучения, с целью совершенствования методики расчета несущей металлоконструкции ВКМ для учета совместного воздействия различных эксплуатационных факторов и получения требуемых прочностных характеристик узлов на всем сроке эксплуатации, а также обеспечения упрощения ремонтных операций „узких мест” в конструкции ВКМ, можно принять отвалообразователь ОШС 4000/125 производства ПАО „Азовмаш” (рис. 5). Данная модель отвалообразователей представлена тремя машинами, эксплуатирующимися в карьере „Мурунтау” (г. Зарафшан, республика Узбекистан) и на Бачатском угольном разрезе (г. Белово, Кемеровская область, Россия) с накопленной базой обследований по итогам их многолетнего наблюдения [11-23].

**Описание конструкции и схема работы отвалообразователя ОШС 4000/125.** Описание конструкции отвалообразователя ОШС-4000/125. ОШС-4000/125 (см. рис. 5) – отвалообразователь шагающий, скальный, производительностью 4000 м<sup>3</sup>/ч с максимальным радиусом отсыпки отвалов 125 м, предназначен для отсыпки в верхний и нижний отвалы поступающего на него с отвальной конвейера скального грунта.

Отвалообразователь производит веерную отсыпку передвижением по ломаной линии (рис. 6), вписанной в дугу с радиусом, равным расстоянию от оси соединения консоли с опорной тележкой до оси концевой барабана. Изменение расстояния между ходовым оборудованием и опорной тележкой при движении по ломаной линии компенсируется подвижностью соединения приемной секции консоли с опорной тележкой.



Рис. 5 – Отвалообразователь ОШС-4000/125 – карьер «Мурунтау»

Отвалообразователь состоит из следующих основных узлов: базы; надстройки; опорного узла; поворотной платформы; рамы ходовой; балки балансирующей; пилона; приемной секции; консоли отвальной.

Схема взаимного расположения силовых металлоконструкций представлена на рис. 7. Опорный узел (поз. 1) состоит из 2-х Г-образных ходовых балок коробчатого сечения, соединенных между собой в прямоугольник, в диагональных углах которого находятся сферические шарниры. На грунт опирается по-

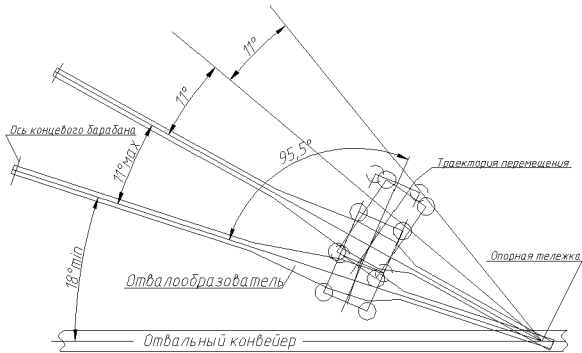


Рис. 6 – Схема перемещения отвалообразователя ОШС-4000/125 при отсыпке отвалов

средством опор, прикрепленных к нижнему поясу балок сферическими шарнирами. Под верхними поясами ходовых балок, вдоль балок приварены уголки и опорные квадраты, по которым движутся катки подхватов тележек при выкате опорного узла. База поз. 2 – кольцевая сварная конструкция, выполненная из 4-х кольцевых и 26-ти радиальных двутавровых балок.

Надстройка – металлоконструкция цилиндрической формы, у вершины переходящая в усеченный конус. Основание надстройки крепится к базе. Место стыка усилено ребрами жесткости.

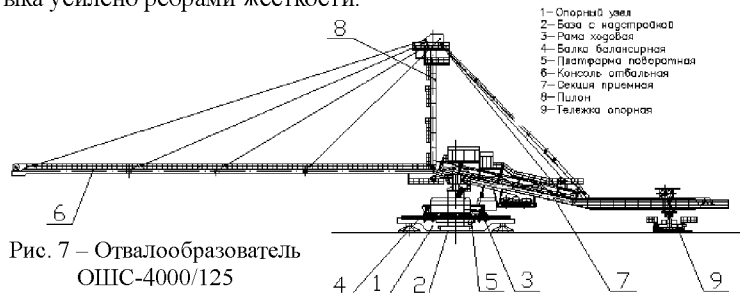


Рис. 7 – Отвалообразователь ОШС-4000/125

Рама ходовая (поз. 3) – сварная, коробчатого сечения металлоконструкция А-образной формы в плане. В вершине рама имеет две подребранные проушины для крепления в них балки балансирующей. На раме расположены три стакана для установки гидроцилиндров. Балка балансирующая (поз. 4) – сварная балка коробчатого сечения. Имеет в центре стакан для крепления к ходовой раме с помощью оси. Поворотная платформа (поз. 5) – сварная металлоконструкция двутаврового и коробчатого сечения, рама сложной формы. Подхват – сварная металлоконструкция крюкообразной формы, служит для подъема базы при перемещении по ходовым балкам. Консоль отвальная (поз. 6) – включает в себя 4 секции, шарнирно соединенные между собой. Три секции состоят из 2-х двутавровых балок, связанных в фермы в горизонтальной плоскости. Одна секция состоит из 4-х двутавровых балок. Секции имеют проушины для крепления вант. Приемная секция (поз. 7) состоит из 2-х (в приемной части) и 4-х (в центральной части) двутавровых балок, связанных в фермы в горизонтальной плоскости. Приемная секция

имеет проушины для крепления вант, оттяжек механизма подъема консоли, рамы приводов конвейера и для опирания на поворотное устройство. Пилон (поз. 8) – сварная рама, выполненная из балок двутаврового сечения, имеющая на нижних концах стоек проушины для присоединения к консоли, в верхней части – проушины для присоединения вант и оттяжек. Опирание приемной консоли отвалообразователя осуществляется на тележку опорную (поз. 9), стыковка и фиксация выполняется посредством установки хомута. Для уравнивания системы на тележку опорную устанавливаются грузы. Технические характеристики отвалообразователя ОШС-4000/125 приведены в табл. 3.

Таблица 3 – Техническая характеристика отвалообразователя ОШС-4000/125

Наименование показателя	Величина
Производительность, м <sup>3</sup> /ч (т/ч)	4000 (7000)
Рабочая температура, град	±40°C
Максимальный размер кусков транспортируемого материала, мм	500
Желобчатость ленты, град	35°
Ширина ленты, мм	2000
Тип ленты	резино-тросовая
Скорость движения ленты, м/с	3,15
Радиус отсыпки, м	125
Высота отсыпаемого отвала, м	30
Угол приближения оси консоли к оси отвального конвейера, град	18°
Частота вращения машины в транспортном положении, об/мин	0,104
Частота вращения ходового оборудования в рабочем положении, об/мин	0,252
Ходовое оборудование	шагающее-рельсовое
Ход по рельсам опорного узла, м	8
Уклон трассы в транспортном положении, град	5°
Уклон трассы в рабочем положении, град	3°
Скорость перемещения по лыжам, м/ч	72
Высота подъема опорного узла, мм	600
Высота подъема базы, мм	600
Скорость передвижения тележки опорной, м/мин	2,6
Величина телескопичности консоли относительно опорной тележки, м	5
Поворотность машины	полноповоротная
Среднее удельное давление на грунт, кг/см <sup>2</sup>	1,5...1,8
Установленная мощность, кВт	1800
Масса машины, т	1230

Отвалообразователь ОШС-4000/125, работающий на Бачатском угольном разрезе г. Белово, Кемеровская область, Россия, конструктивно схож с описанной выше машиной, существенно отличаясь лишь наличием системы горизонтальных вант, а также трубчатым исполнением пилона и отвальной консоли.

*Передвижение отвалообразователя ОШС-4000/125.* Наиболее сложный

процесс в схеме работы отвалообразователя – это операция перешагивания. Она интересна комбинированным воздействием множества различных факторов нагружения на металлоконструкцию опорно-ходовой части машины. Со временем в процессе эксплуатации в схему нагружения добавляются дополнительные, не учитываемые при первоначальном расчете нагрузки.

Отвалообразователь перемещается по дробленому скальному грунту отвала и устанавливается на одном уровне с отвальным конвейером. Поверхность отвала может иметь уклон не более  $3^\circ$  в любой точке перемещения машины во время отсыпки грунта в рабочем положении и не более  $5^\circ$  – в транспортном положении.

Цикл перешагивания машины (рис. 8) включает следующие операции:

- подъем базы с надстройкой и системой консолей – продолжением втягивания штоков гидроцилиндров: при этом подхваты поворотной платформы поднимают базу, между рельсовым кругом базы и катками поворотной платформы образуется зазор 20 мм (рис. 8, а);

- перемещение машины по рельсам опорного узла – при помощи полиспастных лебедок (рис. 8, б);

- опускание базы на грунт – выдвиганием штоков гидроцилиндров;

- подъем опорного узла над грунтом осуществляется выдвиганием штоков гидроцилиндров, при этом катки поворотной платформы опираются на рельсовый круг базы (рис. 8, в);

- разворот опорного узла на необходимый угол осуществляется механизмом поворота поворотной платформы;

- выдвигание опорного узла вперед по ходу – при помощи полиспастных лебедок (рис. 8, г);

- опускание опорного узла на грунт – втягивание штоков гидроцилиндров.

Далее операции повторяются.

Поворот отвалообразователя осуществляется механизмом поворота, выходная шестерня которого оббегает вокруг зуб. венца путем поворота опорного узла в нужном направлении движения.

Гидродомкраты подъема закреплены штоками в стаканах поворотной платформы с помощью сферических

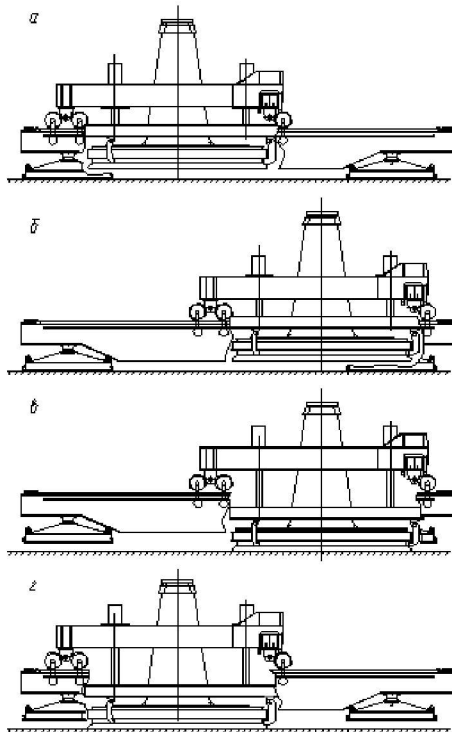


Рис. 8 – Цикл перешагивания отвалообразователя ОПС-4000/125

шайб, компенсирующих уклон площадки, а корпуса гидродомкратов закреплены в раме ходовой. Рама ходовая посредством ходовых тележек имеет возможность перемещения вдоль опорного узла. При помощи подхватов тележки осуществляют подъем опорного узла при опирании на базу. Когда штоки гидродомкратов полностью втянуты, опирание машины происходит на опорный узел. База удерживается подхватами поворотной платформы в поднятом положении. При выдвигании штоков на 600 мм – опирание осуществляется базой и опорным узлом, при выдвигании штоков на 1200 мм опорный узел поднимается на 600 мм и машина остается опертой на базу.

Передвижение отвалообразователя осуществляется путем перемещения ходовых тележек, закрепленных на ходовой раме и балке балансирной, по рельсам опорного узла с помощью гидроцилиндров полиспастной лебедки. Система, полиспастных канатов крепится к ттягам, закрепленным на траверсах плунжеров гидроцилиндров. Когда шток одного цилиндра втянут, шток второго выдвинут в зависимости от того, в какую сторону необходимо двигаться.

Центрируется поворотная часть относительно неповоротной четырьмя роликами, закрепленными на поворотной платформе и упирающимися во внутреннюю поверхность зуб. венца базы.

Передача усилий производится посредством четырех катков, закрепленных на поворотной платформе и перемещающихся по рельсовому кругу базы. Один каток – балансирный.

**Основные расчетные состояния ОПС-4000/125.** Отвалообразователи входят в состав оборудования, задействованного в организации поточной либо циклично-поточной технологии, что предъявляет повышенные требования к прочности и надежности машин данного класса.

Узлы металлоконструкции отвалообразователя должны рассчитываться на суммарное, комбинированное воздействие прилагаемых нагрузок при учете положения машины, выполняемой в данный момент операции, уклона трассы, а также внешних нагрузок (таких как ветер, сейсмическая активность, примерзание, снег, температурные воздействия, нагрузки транспортные и монтажные).

В соответствии с существующей методикой внешние нагрузки, действующие на отвалообразователь, определяются для двух состояний: рабочего и нерабочего. Под нерабочим принимают такое состояние отвалообразователя, при котором машина не работает вследствие наличия ветра большой силы либо сейсмической активности, но находится в полном работоспособном состоянии.

Определение ветровой нагрузки является сложной, но чрезвычайно важной задачей. Ее величина  $F$  зависит от: площади наветренной стороны отвалообразователя, места установки и высоты конструкции, сечения узлов ( $F = P_B S$ , где  $P_B$  – распределенная ветровая нагрузка на наветренную поверхность конструкции на данной высоте;  $S$  – площадь поверхности, воспринимающая нагрузку). В свою очередь,  $P_B = q_0 n c \beta$ , где  $q_0$  – скоростной напор ветра;  $c$  – аэродинамический коэффициент;  $\beta$  – коэффициент, учитывающий

динамическое воздействие, вызываемое пульсациями скоростного напора ветра. Воздействие ветровой нагрузки учитывается при расчете металлоконструкции отвалообразователя на прочность.

Изменение общей температуры окружающего воздуха создает сравнительно равномерные температурные поля по всему объему конструкции и вызывает более или менее равномерное изменение ее размеров. Это не приводит к возникновению значительных напряжений. Приращение линейных размеров в этом случае составит  $\Delta l = \alpha L \Delta T$ , где  $\alpha$  – коэффициент линейного расширения, для стали:  $\alpha = 1,2 \cdot 10^{-5} / \text{град}$ ,  $L$  – линейный размер,  $\Delta T$  – изменение температуры конструкции,  $^{\circ}\text{C}$  [24].

Отвалообразователь может находиться в следующих основных эксплуатационных положениях:

- рабочем, когда система консолей опирается на ходовое оборудование и опорную тележку, груз натяжного устройства подвешен к натяжному барабану и производится отсыпка грунта;

- транспортное, когда система консолей опирается на ходовое оборудование через надстройку и через механизм фиксации. При этом система консолей располагается параллельно рельсам ходового оборудования, опорная тележка отсоединяется, груз натяжного устройства опущен на кронштейны опорной тележки.

В зависимости от положения, максимальная допускаемая величина угла уклона трассы может изменяться от  $3^{\circ}$  до  $5^{\circ}$  при рабочем либо транспортном положении, соответственно. Отвальная консоль может находиться в горизонтальном либо поднятом на угол в  $15^{\circ}$  положении для отсыпки верхнего отвала.

Изменение силового воздействия на узлы металлоконструкции отвалообразователя также зависит от выполняемой в данный момент операции: холостая работа конвейера либо работа при транспортировке грунта.

При расчете на прочность узлов металлоконструкции и деталей механизмов необходимо принимать значения максимальных нагрузок, получаемых на основании моделирования комбинированного воздействия перечисленных выше факторов и исследования созданной расчетной схемы. Расчет на прочность и выносливость ведется из условия

$$\sigma \leq [\sigma] = \sigma_0 / (K_{\sigma} K_M K_n K_1 K_2),$$

где  $\sigma$  – максимальное эквивалентное напряжение;  $[\sigma]$  – допускаемое напряжение для расчетного узла (в зависимости от типа расчета принимают различное значение, например,  $\sigma_0$  – предел выносливости материала);  $K_M$  – масштабный коэффициент;  $K_n$  – коэффициент качества поверхности;  $K_1$  – коэффициент безопасности, зависящий от назначения и степени ответственности узла;  $K_2$  – коэффициент, учитывающий режим работы механизмов;  $K_{\sigma}$  – эффективный коэффициент концентрации напряжений – коэффициент, учитывающий (наряду с геометрией детали) свойства материала, из которого она изготовлена [25-27].

Перечисленные выше основные расчетные схемы, ограничения на напряжения и деформации в комплексе с данными о необходимых эксплуатационных характеристиках и месте эксплуатации являются первичной информацией для выполнения расчетов напряженно-деформированного состояния металлоконструкции. Решение данной задачи наиболее целесообразно посредством использования метода конечных элементов [23].

**Заключение.** Требования, предъявляемые в настоящее время при создании высоконагруженных крупногабаритных машин – разнообразны, а именно: предельно низкая металлоемкость, высокая степень технологичности при изготовлении, надежность и сохранение всех эксплуатационных характеристик на протяжении всего срока эксплуатации, а также выполнение проектных работ в максимально короткие сроки путем сведения к минимуму стадии последовательного совершенствования конструкции по результатам расчетов. Это создает все предпосылки для совершенствования существующих и создания новых, специализированных программно-модельных комплексов, которые максимально упростят выполнение всех поставленных задач. Это составляет направление дальнейших исследований.

**Список литературы:** 1. *Подэрни Р.Ю.* Механическое оборудование карьеров: Учебник для вузов. 7-ое изд., перераб. и доп. / Р.Ю. Подэрни. – М.: Майнинг Медиа Групп, 2011. – 640 с. 2. *Подэрни Р.Ю.* Горные машины и комплексы для открытых работ В 2 т. 4-ое издание / Р.Ю. Подэрни. – МГТУ, 2001. – 422 с. 3. *Отвалообразователи и перегружатели в СССР и за рубежом: Обзор/ЦНИЭИуголь / В.П. Серый, В.Я. Баранов, Н.П. Дорошенко.* – М., 1987. – 61 с. 4. *ГОСТ 28318-89.* Отвалообразователи общие технические требования. – Москва, 2006. – 4 с. 5. Технический проект на строительство погрузочного и транспортно отвального комплекса циклично – поточной технологии карьера «М». Том 1. – Киев, 1972. – 278 с. 6. *Сиваковский А.О.* Транспортные машины открытых горных разработок. Уч. для вузов. / А.О. Сиваковский, М.П. Потапов. – М.: Недра, 1983. – 383 с. 7. *Сытенков В.Н.* Циклично – поточная технология в глубоких карьерах / О.Н. Мальгин, В.Н. Сытенков, П.А. Шеметов. – Ташкент: Фан, 2004. – 337 с. 8. *Грунь В.Д.* Развитие открытого способа добычи угля в России / В.Д. Грунь, В.П. Килимник, Н.В. Ефимова // Горная промышленность. – 2007. – №5(75). – С. 18-21. 9. *Бодло Н.В.* Горно-транспортные комплексы и машины ОАО «Азовмаш» / Н.В. Бодло, В.Д. Полищук // Горный вестник Узбекистана. – 2006. – №3(26). – С. 68-71. 10. *Эксперты и комплексы непрерывного действия для открытых горных работ* – Москва, 1988. – 112 с. 11. *ОТЧЕТ № 1.* Экспертно-техническое обследование (диагностирование) отвалообразователя ОПС –4000/125 зав. №1. – Мариуполь, 2002. – 123 с. 12. *ОТЧЕТ № 2.* Экспертно-техническое обследование (диагностирование) отвалообразователя ОПС –4000/125 зав. №2. – Мариуполь, 2002. – 121 с. 13. *ОТЧЕТ № 1.* Экспертно-техническое обследование (диагностирование) отвалообразователя ОПС –4000/125 зав. №1. – Мариуполь, 2007. – 40 с. 14. *ОТЧЕТ № 2.* Экспертно-техническое обследование (диагностирование) отвалообразователя ОПС –4000/125 зав. №2. – Мариуполь, 2007. – 47 с. 15. *ОТЧЕТ № 470-07/3-9.* Исследование технического состояния металлоконструкции отвалообразователя ОПС-4000/125 зав.№1 собственности Центрального рудоуправления Навойского горно-металлургического комбината, Мариуполь 2007 г – 81с. 16. *ОТЧЕТ № 470-07/3-10.* Исследование технического состояния металлоконструкции отвалообразователя ОПС-4000/125 зав.№2 собственности Центрального рудоуправления Навойского горно-металлургического комбината, Мариуполь 2007 г – 86 с. 17. *ОТЧЕТ № 1.* Экспертно-техническое обследование (диагностирование) отвалообразователя ОПС –4000/125 зав. №1. – Мариуполь, 2011, 119 с. 18. *ОТЧЕТ № 2.* Экспертно-техническое обследование (диагностирование) отвалообразователя ОПС –4000/125 зав. №2. – Мариуполь, 2011, 114 с. 19. Программа проведения акустико – эмиссионного контроля отвалообразователя ОПС –4000/125. – Мариуполь, 2001. – 25 с. 20. Программа экспертного обследования технического состояния металлоконструкций отвалообразователя ОПС –4000/125. – Мариуполь, 2001. – 22 с. 21. Программа экспертного обследования технического состояния металлоконструкций отвалообра-



зователя ОШС-4000/125. – Мариуполь, 2007. – 22 с. **22.** Программа экспертного обследования технического состояния металлоконструкций отвалобразователя ОШС-4000/125 (черт. 126.00.00.000) – Мариуполь, 2011. – 32с. **23.** *Зенкевич О.К.* Метод конечных элементов в технике / О.К. Зенкевич. – М.: Мир, 1975. – 541 с. **24.** *Соколов С.А.* Металлические конструкции подъемно-транспортных машин / С.А. Соколов – Санкт-Петербург: Политехника, 2005. – 422 с. **25.** *Ицкович Г.М.* Сопротивление материалов / Г.М. Ицкович – М.: Высшая школа, 1960. – 529 с. **26.** *Писаренко Г.С.* Сопротивление материалов / Г.С. Писаренко, В.А. Агарев, А.Л. Квитка и др. – Киев: Вища школа, 1979. – 693 с. **27.** Справочник металлиста. Том 2. / Под ред. *Н.С. Ачеркана.* – М.: Машгиз, 1958.

Поступила в редколлегию 30.06.12

УДК 621.43:62-192

**В. Н. ШЕРЕМЕТ**, асп. каф. ТММиСАПР, НТУ „ХПИ”, Харьков;  
**О.В. ВЕРЕТЕЛЬНИК**, мл. науч. сотр. каф. ТММиСАПР, НТУ „ХПИ”;  
**Б.Я. ЛИТВИН**, ген. директор ХЗТО, Харьков;  
**А.И. ШЕЙКО**, зам. гл инж. ГП „Завод им. Малышева”, Харьков;  
**С.А. КРАВЧЕНКО**, к.т.н., ст.науч.сотр. каф. ДВС НТУ „ХПИ”

### ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КОНТАКТНЫХ ДАВЛЕНИЙ В СОПРЯЖЕНИИ ДЕТАЛЕЙ С ДИСКРЕТНЫМ УПРОЧНЕНИЕМ

У статті описані результати дослідження особливостей напружено-деформованого стану при контактній взаємодії деталей, поверхні яких дискретно зміцнені. Виявлено суттєву нерівномірність розподілу контактної тиску на контактній поверхні.

**Ключові слова:** дискретне зміцнення, напружено-деформований стан, контактний тиск, контактна поверхня.

В статье описаны результаты исследования особенностей напряженно-деформированного состояния при контактном взаимодействии деталей, поверхности которых дискретно упрочнены. Выявлена существенная неравномерность распределения контактного давления на контактной поверхности.

**Ключевые слова:** дискретное упрочнение, напряженно-деформированное состояние, контактное давление, контактная поверхность.

In the paper results are described for research of features of stressed-deformed state at contact interaction of details which surfaces are discretely strengthened. The substantial irregularity of contact pressure distribution is detected on contact surface.

**Keywords:** discrete strengthening, tensely-deformed state, pin pressure, pin surface.

**Введение.** Одним из наиболее эффективных методов повышения прочностных и трибологических свойств тяжело нагруженных деталей машиностроительных конструкций является метод дискретного упрочнения [1-5]. Он превосходит конкурирующие с ним способы упрочнения поверхности деталей тем, что вместо континуальной модификации поверхностного слоя в данной

© В. Н. Шеремет, О.В. Веретельник, Б.Я. Литвин, А.И. Шейко, С.А. Кравченко

технологии предложен метод нанесения электроискровым способом архипелага дискретных зон упрочнения. Эксперименты на обработанных таким способом деталях показали, что, в отличие от других методов, предложенная технология приводит не к разнонаправленному изменению трибологических и прочностных характеристик обработанных деталей, а к их одновременному росту. При этом в настоящее время отсутствует достаточно подробный анализ особенностей, привносимых на микроуровне, в процесс контактного взаимодействия дискретно упрочненных деталей. Эта актуальная задача частично решена и описана в представленной работе.

**Расчетная модель.** В качестве исследуемого объекта был рассмотрен фрагмент двух контактирующих упругих тел, одно из которых содержит полувальную зону включения с размерами 0,6x0,6x0,4 мм. Это и есть зона дискретного упрочнения. Она состоит из высоколегированного материала (сталь 12Х18Н10Т), а материал основного материала – чугун ТУ Д70.05.ДТ:1978. Из исследуемой системы вычленен отдельный фрагмент (рис. 1). По размерам в плане он соответствует ¼ элементарной ячейки, которой замощена поверхность дискретно упрочненной детали. По глубине фрагмент ограничен 10-ю размерами характерного размера в плане. По боковым поверхностям фрагмента заданы условия симметрии, нижняя грань закреплена, верхняя – нагружена равномерно распределенным давлением  $p = 100$  МПа, а по сопряженным граням моделируются условия контактного взаимодействия без трения.

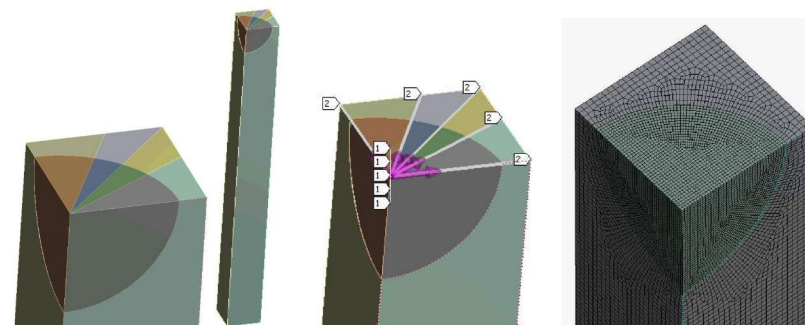


Рис. 1 – Расчетные схемы для задачи анализа НДС фрагмента детали с зоной дискретного упрочнения при действии на поверхность распределенного давления  $p=100$  МПа

**Результаты тестовых расчетов.** На рис. 2-4 представлены картины распределения компонент напряженно-деформированного состояния в исследованном фрагменте системы взаимодействующих тел, одно из которых содержит зону дискретного упрочнения.

Представленные картины распределения контактных давлений свидетельствуют о существенной их неравномерности. При этом большая часть действующей нагрузки прижатия тел, приходящаяся на отдельно взятый