

Казахский национальный технический университет
имени К.И. Сатпаева

УДК 621.867.152

На правах рукописи

САЗАМБАЕВА БАЯН ТОКУШЕВНА

**Создание и разработка теоретических основ расчета рабочих органов
ковшовых элеваторов**

05.05.04 – Дорожные, строительные и подъемно-транспортные машины

Диссертация на соискание ученой степени
доктора технических наук

Научный консультант:
д-р техн. наук, профессор
Джиенкулов С.А.

Республика Казахстан
Алматы, 2006

СОДЕРЖАНИЕ

СОКРАЩЕНИЯ.....	4
ВВЕДЕНИЕ.....	5
1 ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ И СОСТОЯНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ КОВШОВЫХ ЭЛЕВАТОРОВ.....	10
1.1 Роль ковшовых элеваторов в промышленности и опыт их эксплуатации.....	10
1.2 Анализ проектируемых конструкций ковшовых элеваторов.....	31
1.3 Критический анализ теоретических исследований по ковшовым элеваторам.....	43
1.4 Постановка вопроса и задачи исследования.....	51
1.5 Выводы по разделу 1.....	54
2 ПРОГНОЗНАЯ ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ И КОНСТРУКЦИЙ КОВШОВЫХ ЭЛЕВАТОРОВ.....	55
2.1 Методы прогнозирования и классификация ковшовых элеваторов.....	55
2.2 Разработка новой конструкции рабочего органа ковшового элеватора и обоснование его параметров.....	70
2.3 Критерии совершенства ковшовых элеваторов и их сравнительная оценка.....	80
2.4 Обоснование основных параметров ковшовых элеваторов с новой конструкцией ковша.....	93
2.5 Моделирование движения грузовой ветви ковшового элеватора.....	103
2.6 Выводы по разделу 2.....	106
3 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА РАЗГРУЗКИ КОВШОВЫХ ЭЛЕВАТОРОВ.....	107
3.1 Закономерности движения сыпучих грузов в ковше	107
3.2 Дифференциальные уравнения движения груза в ковше в процессе разгрузки.....	113
3.3 Обоснование параметров разгрузки ковшовых элеваторов.....	119
3.4 Выводы по разделу 3.....	126
4 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЧНОСТИ ТЯГОВО - НЕСУЩИХ ОРГАНОВ КОВШОВЫХ ЭЛЕВАТОРОВ.....	127
4.1 Существующие методы исследования прочности.....	127
4.2 Определение несущей способности тяговых органов ковшовых элеваторов.....	142
4.3 Определение прочностных свойств тягово - несущего органа ковшовых элеваторов.....	162
4.4 Выводы по разделу 4.....	174

5	ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КОВШОВЫХ ЭЛЕВАТОРОВ.....	175
5.1	Методика экспериментальных исследований ковшовых элеваторов.....	175
5.2	Экспериментальные исследования процесса разгрузки ковшовых элеваторов.....	179
5.3	Анализ теоретических и экспериментальных исследований ковшовых элеваторов.....	192
5.4	Методика расчета ковшовых элеваторов с интенсивной разгрузкой.....	200
5.6	Выводы по разделу 5.....	203
6	ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОВШОВЫХ ЭЛЕВАТОРОВ.....	204
6.1	Теоретические положения по проектированию ковшовых элеваторов.....	204
6.2	Сравнительные оценки технико - экономических расчетов ковшового элеватора с новым рабочим органом.....	205
6.3	Методика расчета ковшовых элеваторов.....	214
6.4	Выводы по разделу 6.....	217
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	218
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	219
	ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	228
	ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	234

СОКРАЩЕНИЯ

МНТ	- машины непрерывного транспорта;
КЭ	- ковшовые элеваторы;
ЛКЭ	- ленточные ковшовые элеваторы;
ЛГ	- элеваторы с глубокими ковшами;
ЛМ	- элеваторы с мелкими ковшами;
УН	- нории ленточные;
ЭЦ	- элеваторы цепные;
APM Win Machine	- комплексная автоматизация процессов проектирования;
Arm Graph	- плоско-чертежный графический редактор;
Arm Studio	- модуль твердотельного и поверхностного моделирования;
Q	- производительность весовая, т/ч;
V	- производительность объемная, м ³ /ч;
N	- мощность двигателя, кВт;
I	- емкость ковша, л;
a	- шаг ковша, м;
A	- вылет ковша, м;
ρ	- радиус циклоиды, М;
v	- скорость транспортирования, м/с;
S _{max}	- максимальное натяжение ленты, Н;
B _{л.}	- ширина ленты, м;
γ	- плотность транспортированного груза, т/м ³ ;
H	- высота транспортирования груза, м;
QH	- функциональный критерий, т/ч*м;
ST	- прочность ленты, Н/мм.

ВВЕДЕНИЕ

Стратегия индустриально-инновационного развития Республики Казахстан до 2015 года предусматривает развитие промышленности, создание и эксплуатацию крупных предприятий: энергетики, горнодобывающей, нефтегазодобывающей, базовой металлургической, фосфорной, урановой, строительной [1]. Одним из стратегических направлений развития республики является повышение эффективности строительного производства, составной частью которого являются процессы, связанные с транспортированием и перевозкой сыпучих грузов. Во всех сферах, где применяется транспортирование сыпучих грузов, приоритет отдается эффективности капиталовложений и эксплуатационных затрат.

Использование новых технологий и новых конвейерных систем позволяет преодолеть факторы, ограничивающие эффективность эксплуатации традиционных конвейерных систем и продвинуться к новым рубежам в технологии вертикального транспортирования грузов [2].

Конструкции и возможности вертикальной конвейерной (элеваторной) системы делают ее пригодной для использования в открытых и подземных рудниках, для выемки материалов из штолен, при прокладке тоннелей, для складирования материала в отвалы и подачи в силосные башни и доменные печи, а также при реализации проектов строительства и транспортных магистралей. Ковшовые элеваторы по своей конструкции рассчитаны на универсальное применение в различных конвейерных системах и могут быть интегрированы в любые транспортирующие комплексы, обеспечивая непрерывное транспортирование сыпучих грузов [3].

Использование новой технологии и новых конвейерных систем позволяет преодолеть факторы, ограничивающие эффективность эксплуатации традиционных конвейерных систем, и продвинуться к новым рубежам в технологии вертикального транспортирования. Помимо успешного решения вопросов рентабельности и надежности при разработке элеваторной системы приоритет отдавался таким задачам:

- обеспечение универсальности применения всех видов сыпучих материалов (с крупностью вплоть до 400 мм);
- возможности интеграции элеваторной системы в существующие установки с сохранением непрерывности потока материала;
- увеличения высоты транспортирования элеваторами и снижения потребления электроэнергии за счет устранения трения и вращающихся элементов.

Некоторые из новых систем уже с успехом зарекомендовали себя на практике. Они спроектированы для вертикального транспортирования материала, оборудованы горизонтальными секциями питания и разгрузки без дополнительных перегрузочных узлов с целью оптимизации потока материала на ограниченной площади и преодоления большого перепада высот. Применение вертикальных ковшовых элеваторов для погрузки и транспортирования сыпучих материалов в условиях тоннелей и шахт,

саморазгружающегося судна, строительства и транспортных магистралей оправдано как с точки зрения логистики, так и с точки зрения инженерно-технологических параметров, обеспечивающих высокую эксплуатационную надежность и долгий срок службы оборудования при резком сокращении потребляемой электроэнергии оборудования [4, 5, 6].

Современный рынок предоставляет потребителю возможность широкого выбора техники, в том числе и транспортирующей. Потребитель должен владеть методами обоснованного выбора перспективной техники в зависимости от условий эксплуатации.

Технологический процесс производства предъявляет к транспортирующим машинам повышенные требования. Поэтому динамическую часть общей структуры предприятия, строительной, горнодобывающей, нефтеперерабатывающей, химической представляют системы технологического транспорта. В связи с этим в этих отраслях ведутся научные исследования в области использования технологического конвейерного транспорта. В горнодобывающей промышленности – решение острой проблемы открытых горных работ - транспортирование горной массы из глубоких карьеров с помощью наклонного и вертикального непрерывного транспорта. В строительной промышленности – транспортирование строительных материалов из карьеров [7, 8, 9].

Ковшовые элеваторы по своей конструкции рассчитаны на универсальное применение в различных конвейерных системах и могут быть интегрированы в любые комплексные конвейерные линии, обеспечивая непрерывное транспортирование сыпучих грузов.

Ковшовые элеваторы в основе своей состоят из цепи или бесконечной ленты, армированной высокопрочными компонентами, к которым крепятся ковши, несущие сыпучий груз. Транспортирующая ветвь огибает головную и натяжную станцию. В зависимости от типа выбранных тяговых элементов, она имеет на верхней разгрузочной станции либо принудительный привод, либо привод, регулируемый величиной нагрузки.

Анализ разработки ряда поколений транспортирующей вертикальной техники показывает, что их создание на каждом очередном этапе совершенствования и обновления требует систематизации и учета опыта, приобретенного в ходе создания, эксплуатации и применения машин предшествующего поколения, а также его теоретического обобщения [10].

Создание и разработка основ расчета прогрессивных транспортирующих машин является одним из важнейших факторов для обеспечения научно-технического прогресса в этой отрасли и требует соответствующей методологии ее решения.

Разработке перспективных транспортирующих машин уделяется много внимания, как в РК, так и за рубежом, о чем свидетельствуют публикации по этой теме [11,12,13]. Перспективное развитие теории рабочих процессов транспортирующих машин, в том числе ковшовых элеваторов определяют две основные проблемы:

- создание общей теории расчета ковшовых элеваторов и обоснование их параметров;

- разработка производительных рабочих органов ковшовых элеваторов.

Существующие конструкции элеваторов для транспортирования сыпучих и мелкокусковых грузов имеют ряд недостатков, являющихся сдерживающим фактором повышения скорости и высоты подъема, зависят от конструкции ковша и типа лент. В свою очередь, конструкция ковша влияет на скорость выгрузки материала из ковша, а также на производительность машины. Поэтому создание таких рабочих органов и разработка теоретических основ их расчета является актуальной проблемой.

Решение указанных проблем требует проведения комплекса научно-исследовательских работ по совершенствованию ковшовых элеваторов. Необходимость решения задач по повышению эффективности использования элеваторных установок для вертикального транспортирования сыпучих материалов является актуальной проблемой. Тема диссертации выполнена в рамках целевой научно-технической программы МОиН РК №04-101/1015 от 03.08.95 г. «Научно-технические проблемы машиностроения и создания новых высокоэффективных машин и аппаратов», подраздел «Новые подъемно-транспортные, строительные, дорожные машины и оборудование» и связана с госбюджетной работой, проводимой в Казахском национально-техническом университете имени К.И. Сатпаева по теме: «Научно-теоретические и экспериментальные пути развития и создания высоконадежных машин и механизмов».

В данной работе обобщается опыт элеваторостроения путем разработки перспективной конструкции ковша и обоснования основных параметров ковшовых элеваторов.

Цель работы. Повышение эффективности эксплуатации ковшовых элеваторов путем создания нового рабочего органа и разработки его теоретических основ расчета.

Задачи исследования:

- сбор и анализ исследований по конструкциям и расчету ковшовых элеваторов;

- разработка классификационной таблицы перспективных видов ковшовых элеваторов для предприятий стройиндустрии, горнорудной промышленности;

- создание рационального рабочего органа, позволяющего ускорить процесс высыпания груза;

- разработка математической модели для расчета и обоснования основных параметров ковшовых элеваторов;

- исследование закономерности движения сыпучих грузов в ковше определение параметров разгрузки;

- исследование напряженно-деформированного состояния рабочего органа ковшового элеватора и определение его прочностных свойств;

- экспериментальная апробация теоретических исследований;

- разработка методики расчета ковшовых элеваторов с новым рабочим органом.

Идея работы. Создание нового рабочего органа ковшового элеватора, позволяющего повысить производительность и скорость элеваторных установок, за счет уменьшения сопротивления движению груза в ковше при разгрузке.

Предмет исследования. Предметом исследования является разработка конструкции ковша, профилируемой поверхностями стенок, позволяющих ускорить высыпание груза.

Методы исследований заключаются в использовании методов системного подхода с использованием элементов структурного анализа, прочностного анализа, математической статистики и моделирования.

Научная новизна:

- классификационная таблица ковшовых элеваторов по функциональному назначению;

- конструкция ковшового элеватора с новым рабочим органом, предложенная автором;

- критерии сопоставимости ковшовых элеваторов;

- математическая модель для определения основных параметров ковшового элеватора с новым рабочим органом;

- дифференциальные уравнения движения груза в ковше, предложенные автором;

- комплексная методика обоснования и расчета ковшового элеватора с новым рабочим органом.

Основные научные положения:

- классификационная таблица для установления перспективных путей развития ковшовых элеваторов и рациональных конструкций рабочих органов;

- конструкция ковшового элеватора с перспективным новым рабочим органом, разработанная автором, позволяющим повысить скорость транспортирования;

- критерии сопоставимости ковшовых элеваторов для определения перспективных конструкций машин с рациональным рабочим органом;

- математические модели для расчета предложенного рабочего органа ковшовых элеваторов;

- дифференциальные уравнения движения груза в ковше в процессе разгрузки;

- обобщенная методика обоснования и расчета ковшовых элеваторов с новым рабочим органом.

Научное значение:

- перспективность ковшовых элеваторов с новым рабочим органом наиболее достоверно определяется при систематизации ковшовых элеваторов по функциональному назначению;

- критерием повышения эффективности работы ковшовых элеваторов является скорость разгрузки, достигаемая рациональной формой рабочего органа (ковша);

- предложенные критерии сопоставимости для определения перспективности технических решений ковшовых элеваторов достоверны, подтверждены определением полноты, значимости, взаимной независимости;

- математическая модель, описывающая процесс разгрузки, обеспечивает беспрепятственную разгрузку материала и позволяет определить конструктивные параметры рабочего органа;

- комплексная методика обоснования и расчета ковшовых элеваторов может быть использована при проектировании элеваторных установок.

Практическая ценность работы:

- разработанная методика расчета ковшовых элеваторов с новым рабочим органом может быть использована при создании аналогичных механизмов и служить методической базой для совершенствования общей теории расчета ковшовых элеваторов;

- результаты исследования могут быть использованы в научно-исследовательских, проектных институтах, организациях и предприятиях при расчете и проектировании ковшовых элеваторов, а также в учебном процессе в курсе: «Подъемно-транспортные, строительные-дорожные машины».

1 ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ И СОСТОЯНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ КОВШОВЫХ ЭЛЕВАТОРОВ

1.1 Роль ковшовых элеваторов в промышленности и опыт их эксплуатации

Высокоэффективная работа современных предприятий невозможна без правильно организованных и надежно работающих промышленных и транспортных устройств, обеспечивающих питание всех его звеньев, связывающих их между собой, превращая промышленное производство в единый технологический комплекс [14, 15].

В передовых отраслях народного хозяйства постоянно возрастает число транспортных устройств, базирующихся на применении современных достижений фундаментальных и прикладных наук, представляющих собой определенные совокупности (комплексы, системы), транспортирующих машин. Они строго увязываются между собой в конструктивном отношении при их создании и четко функционируют при непосредственном участии, под контролем и управлением человека.

К типичным отраслям производства, использующих машины непрерывного транспорта следует отнести предприятия горной и горнометаллургической промышленности, где широкое распространение получили в подземных условиях ленточные и скребковые конвейеры, а на поверхностных комплексах – ленточные, скребковые, винтовые конвейеры, а также ковшовые элеваторы; стройиндустрию, химическую промышленность и другие отрасли. Продукция этих машин характеризуется такими общими чертами, как высокая производительность, быстрое действие целевого применения, механизация и автоматизация, требующая минимального участия человека в функционировании техники, комплексность и сложность построения, большая трудоемкость и стоимость создания, обновления и эксплуатации.

Строительные и другие предприятия характеризуются значительной разветвленностью транспортных коммуникаций, обусловленной необходимостью получения на них одновременно нескольких видов готовой продукции, так, например, на предприятиях нерудных строительных материалов, как гравийно-песчаные - количество фракций песка, щебня и гравия доходят до десяти. Из угольных шахт, карьеров, открытых разработок ежедневно транспортируются тысячи тонн угля и вскрышной породы. К доменным печам металлургического комбината подводятся тысячи тонн агломерата, флюсов, кокса, а из печей развозится на склады готовая продукция – металл [2, с. 9].

В машиностроительных заводах получают и распределяют по цехам сотни тонн металла, полуфабрикатов, топлива и отправляют из цеха в цех готовые изделия и отходы производства.

Внутризаводской транспорт занимает важное место в технологической цепи предприятия, из общего количества оборудования транспортное занимает 40-50%. По капитальным затратам - порядка 40%, а для транспортных расходов в

общей себестоимости продукции доходит до 40-50 %. Поэтому от надежной работы внутризаводского транспорта в значительной степени зависит эффективность предприятия [17].

Анализ разработки ряда поколений транспортирующих машин, показывает, что их создание на каждом очередном этапе требует совершенствования, обновления, систематизации с учетом опыта, приобретенного в ходе создания, эксплуатации и целевого применения объектов предшествующих поколений, и его теоретического обобщения.

Разработка теории создания современных машин, является одним из важнейших факторов по обеспечению научно-технического прогресса, в настоящее время превратилась в актуальную проблему, требующую для своего решения соответствующего внимания и концептуального подхода.

Процесс транспортирования насыпного материала на промышленных предприятиях – это совокупность операции по перемещению погрузке и разгрузке исходного сыпучего материала в процессе переработки готовой продукции и отходов производства в пределах перерабатывающего предприятия [18].

На многих предприятиях ковшовые элеваторы (КЭ) являются связующим звеном в технологической цепи в силу своих определенных преимуществ в 1960-е годы ковшовый элеватор, транспортирующий на высоту до 60 м и производительностью 600 т/ч считался вершиной технических возможностей [5]. Исследования по оптимизации операций загрузки, разгрузки сопровождали и поддерживали предпринимаемые в то время усилия, направленные на создание высокопроизводительных элеваторов, способных транспортировать на высоту более 60 м и производительностью более 600 т/ч. В 1980 годах считалось, что элеваторы традиционной конструкции с тяговым органом, имеющим стальной армирующий корд может транспортировать на высоту до 120 м.

Известно, что существуют конструкции ковшовых элеваторов с расставленными ковшами, с сомкнутыми ковшами, имеющие глубокие и мелкие, остроугольные и средние ковши. На рисунке 1.1 а, б, в показаны эти элеваторы со стандартными ковшами; а- с расставленными ковшами; б- для асфальтобетонных заводов; в – ковшовые элеваторы, используемые в пищевой промышленности. Современные элеваторы такого типа способны поднимать груз на высоту до 137 м, рисунок [19, 20]. Казалось бы, что технические возможности обычных ковшовых элеваторов уже полностью реализованы. Основным ограничивающим фактором является прочностная способность ленты на разрыв. Предельная высота вертикального подъема ленточного ковшового элеватора с армирующим стальным кордом определяется прочностью мест стыковки. Но в 1964 году ленточный конвейер FLEXOWELL открыл новый этап в области погрузки и транспортировки сыпучих материалов. Конвейерная система FLEXOLIFT позволяет создавать мощные, высокопроизводительные транспортировочные установки, способна работать как в горизонтальном, так и вертикальном режиме, а также под произвольным углом наклона. В настоящее время технология FLEXOWELL^R надежная и

экологически чистая система, которая работает более чем 55000 производственных установках по всему миру [21].

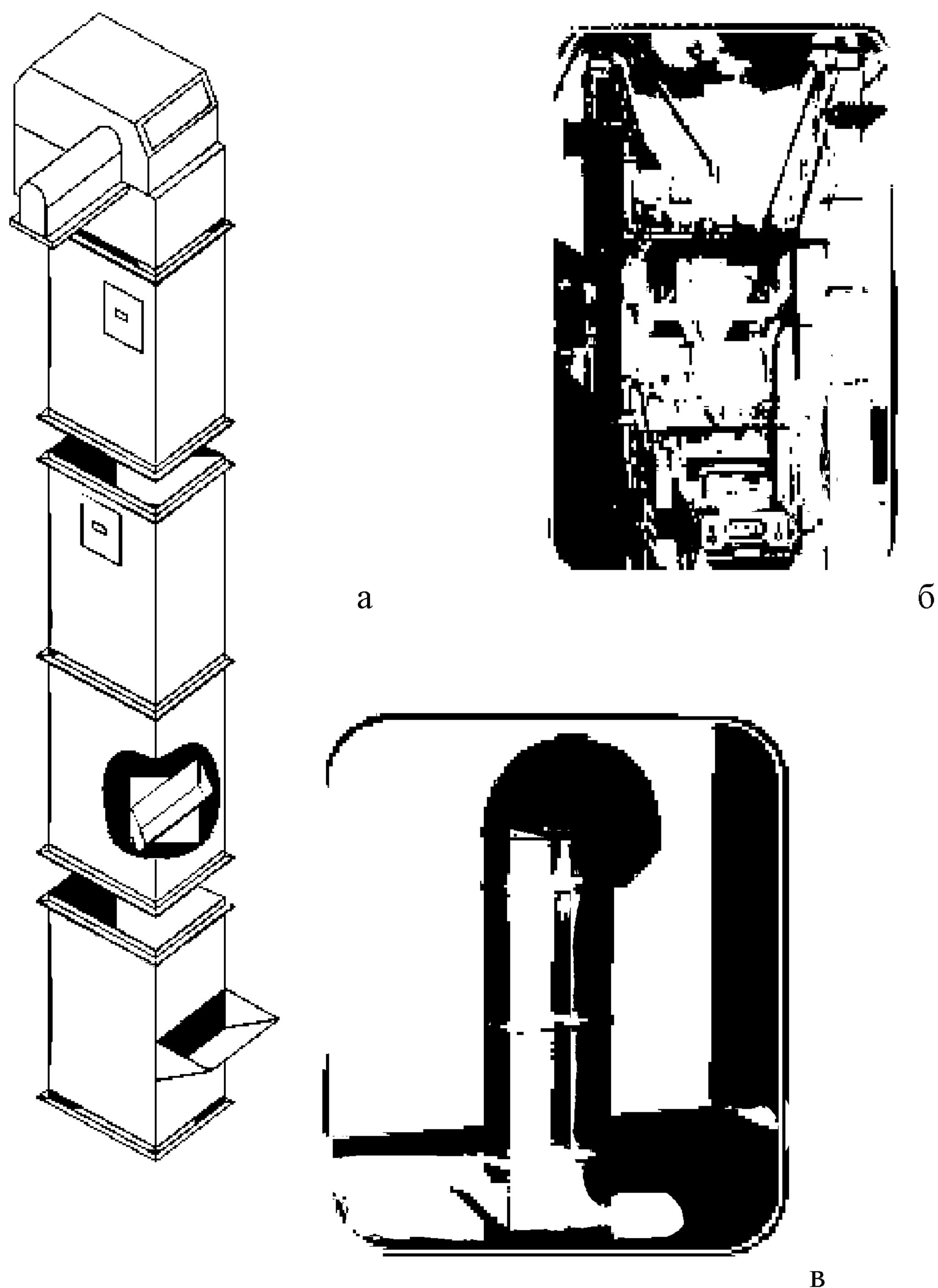


Рисунок 1.1 – Общий вид ковшовых элеваторов

Наряду с другими транспортными машинами ковшовые элеваторы применяются для транспортирования насыпных грузов: пылевидных, зернистых и кусковых (например: цемента, химиката, песка, зерна, муки, углеторфа), а также на предприятиях химической, металлургической, машиностроительной, в производстве строительных материалов и огнеупоров, на углеобогатительных, пищевых комбинатах и т. п. Возможности применения

этих машин во многих отраслях производства обусловлены рядом их преимуществ по сравнению с другими машинами: вертикальное транспортирование в условиях ограниченного пространства, компактность, высокая производительность, герметичность, сохранность транспортируемого груза, находящегося в ковше. Ковшовые элеваторы (КЭ) – машины непрерывного действия, предназначенные для вертикального или круто наклонного транспортирования различных, сыпучих грузов [22].

Существующие ковшовые элеваторы включают тяговые органы с прикрепленными к нему ковшами, несущими транспортируемый материал, которые приводятся в движение барабаном, соединенным с приводом муфтой. Начальное натяжение ленты создается усилием натяжного устройства, перемещающего вал натяжного барабана. Насыпной груз через загрузочный патрубок подается в башмак элеватора, где загружается в ковши и подается на разгрузку через разгрузочный патрубок ковшового элеватора. Пуск КЭ производится вхолостую или одновременно с загрузкой ковшей, что определяется технологической схемой транспортирования груза и условиями производственных процессов.

На рисунке 1.2 показаны современные ковшовые элеваторы ведущих зарубежных фирм, высокоскоростные, с большой высотой подъема. Рабочее полотно элеватора заключено в сплошной корпус, предохраняющий груз от внешних воздействий, для транспортирования пылевидных грузов. Принцип действия, характер и последовательность рабочих процессов, режим работы, условия пуска, способ и вид загрузки и разгрузки ковшей связаны с конструктивными и технологическими особенностями ковшовых элеваторов. На рисунке 1.3 показан ковшовый элеватор, выпускаемый фирмой “Moller” с большой высотой подъема.

На рисунке 1.4 – общий вид ковшового элеватора фирмы FLEXOWELL, с открытым корпусом и внутренней разгрузкой. Современные ковшовые элеваторы используются с различными типами лент. Доставка груза на значительную высоту одним элеватором позволяет устранить промежуточные пункты перегрузок материала с конвейера на конвейер, уменьшить число работающих на карьере механизмов, сэкономить на уменьшении металлоемкости, сократить штат обслуживающего персонала. Конвейерная система FLEXOLIFT, FLEXOWELL имеют более высокую производительность при транспортировании всех видов сыпучего материала крупностью до 150 мм, лента может двигаться со скоростью 8 м/с. Такие параметры до применения ленты типа FLEXOWELL были нереальными, из-за быстрого износа лент. Это высокопроизводительные транспортирующие устройства при небольших первоначальных затратах. Прочность лент вертикальных ковшовых элеваторов типа ROCKETLIFT составляет $ST = 8000$ Н/мм, высота подъема 500 м. Если брать в сравнении с ковшовыми элеваторами традиционного типа (высота подъема которого составляет 150 м, прочность ленты - $ST = 3150$ Н/мм), то технические параметры современных ковшовых элеваторов намного выше. Использование двух резиновых лент высокопроизводительных ковшовых элеваторов

позволяет увеличить высоту транспортирования до 500 м, а производительность 5000 м³/час.

Ковшовый элеватор типа Core-ROKETLIFT с применением кевларовых лент, прочность ленты ST – 3150 Н/мм имеет производительность до 5000 м³/час и высоту транспортирования 1000 м. Эти элеваторы имеют следующие преимущества: интенсивный поток сыпучего материала, оптимальный механизм питания и разгрузки, плавную и непрерывную подачу материала, бесшумную работу оборудования, меньший объем работ технического обслуживания [21, с. 11].

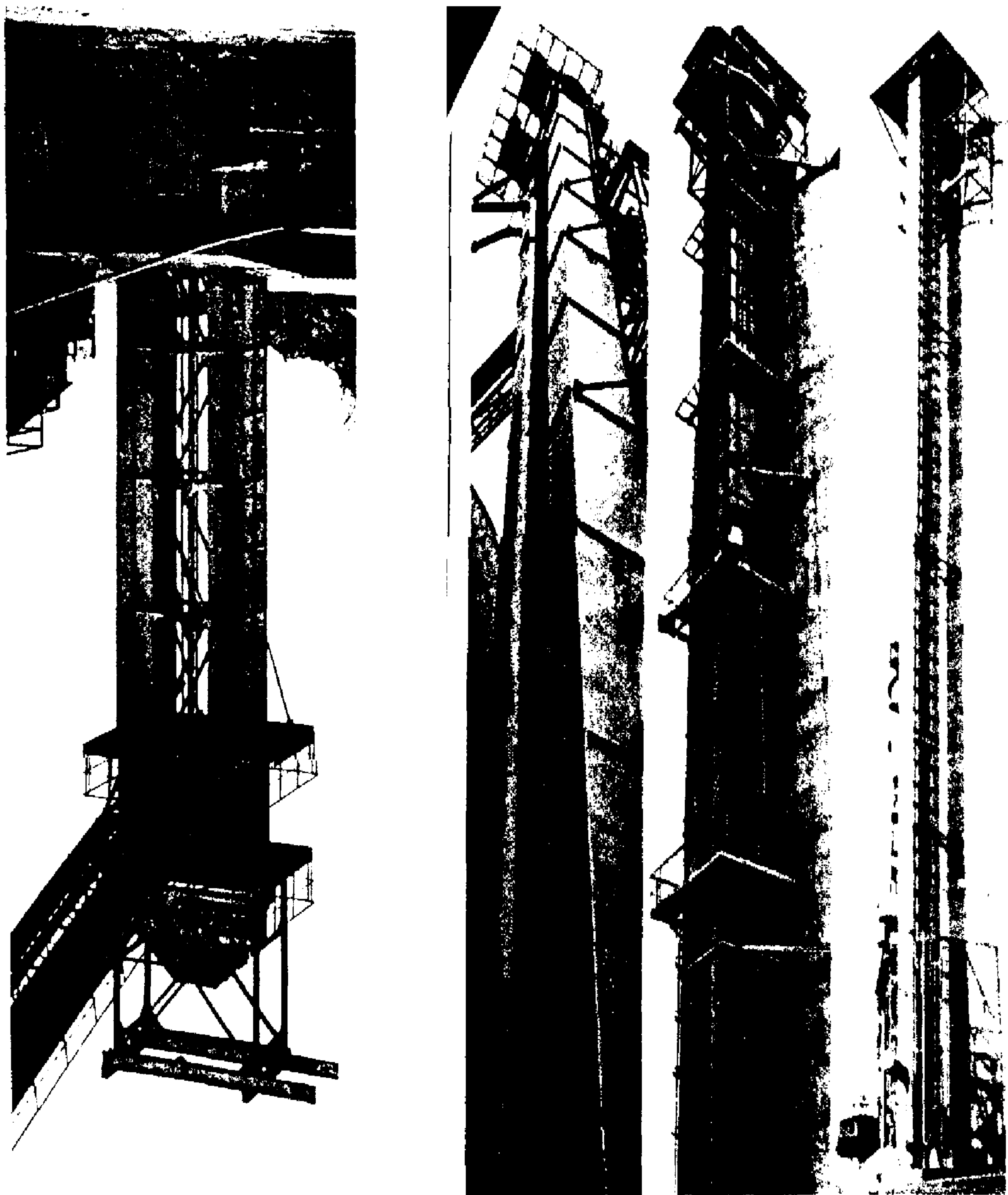


Рисунок 1.2 - Высокоскоростные элеваторы зарубежных фирм



Рисунок 1.3 - Элеваторы фирмы “Muller” с большой высотой подъема

С развитием современной, передовой технологии, где используются ковшовые элеваторы, появляется необходимость определения перспектив развития с целью выявления тенденций и направлений научно-исследовательских и конструктивных разработок с учетом мировой практики. Одной из задач при этом является прогнозирование конструкций ковшовых элеваторов.

Исследование ковшовых элеваторов по конструктивным признакам и особенностям технологических рабочих процессов позволяет при условиях их знаний эксплуатации и вида транспортируемого груза, правильно подобрать типовые элементы и установить скорость движения ленты КЭ.

Развитие промышленности и индустриализации потребовали создания и становления в Казахстане подъемно-транспортного машиностроения и вместе с ним развития транспортирующих машин. На рисунке 1.5 показаны современные ковшовые элеваторы, используемые в промышленности.



Рисунок 1.4 - Элеватор производства фирмы FLEXOWELL



Рисунок 1.5 - Современные ковшовые элеваторы

В настоящее время перемещение материалов на обогатительных фабриках и химических заводах преимущественно производится транспортирующими машинами. Поэтому применение средств непрерывного транспортирования сыпучих материалов является весьма перспективным.

Для транспортирования легкосыпучих материалов применяются, как правило, элеваторы с глубокими ковшами, а для транспортирования плохо сыпучих материалов - только элеваторы с мелкими ковшами. Применение элеваторов в качестве междуэтажного транспортного средства даёт возможность иметь компактные транспортные схемы, занимающие малые площади. Элеваторы комплектуются с завода лентой общего назначения для транспортирования материалов с температурой не выше +60 С. При транспортировании материалов с более высокой температурой потребитель должен заменить ленту на теплостойкую.

Промышленными предприятиями выпускаются ковшовые элеваторы цепного и ленточного исполнения, которые предназначены для транспортирования мелкозернистых, мелкокусковых (до 160мм) насыпных грузов с объемной массой до 1,8тн/м³, высотой подъема до 30м, производительностью до 50 куб.м/час. Конструкция элеваторов является самонесущей, что позволяет (при необходимости) не использовать перекрытия и другие конструкции помещения в качестве опорных элементов элеватора.

В зависимости от высоты транспортирования и объемной массы насыпного груза элеваторы оснащаются приводами различной мощности. Для обслуживания элеваторы снабжаются необходимыми дверками и люками.

Возникающие при работе нагрузки воспринимаются самонесущей шахтой элеватора и передаются непосредственно на фундамент, минуя перекрытия производственных зданий. В зависимости от высоты транспортирования и объемной массы насыпного груза элеваторы оснащаются приводами различной мощности. Для обслуживания элеваторы снабжаются необходимыми дверками

и люками, расположенными напротив основных механизмов. Элеваторы комплектуются необходимыми устройствами для надежной, безопасной и экономичной работы.

Цепные и ленточные ковшовые элеваторы служат для транспортирования мелкозернистых, мелкокусковых (до 160 мм) насыпных грузов с объемной массой до 2 т/куб. м, высотой подъема до 50 м и производительностью от 10 до 200 куб.м/ч.

Привод элеватора снабжен останком для предохранения от обратного движения ходовой части. Привод элеваторов редукторный, размещается в верхней части элеватора.

К преимуществам ковшовых элеваторов относятся малые габаритные размеры в поперечном сечении, возможность подачи груза на значительную высоту и большой диапазон производительности.

Практика эксплуатации предприятий, использующих транспортирующие машины, и анализ проектных решений по транспортирующим машинам показывает, что большинство аварий транспортного оборудования вызвано недостаточно обоснованным выбором исходных параметров (расчетная производительность, крупность, физико-механические свойства груза, условия загрузки и выгрузки, прочностные свойства тягово-несущего органа, а также конструктивные решения рабочих органов, загрузочные и разгрузочные устройства).

Качественное и быстрое решение проблемы создания энергосберегающих технологий с минимальными затратами возможно только на основе системного анализа машин, базирующейся на сборе статистических данных по конструкциям, компьютерном моделировании процессов рабочих процессов машины и определении количественных значений выходных параметров и комплексов критериев, характеризующих работоспособность этих машин [23]. Поэтому вопросы исследования параметров и конструкций ковшовых элеваторов, позволяющих повысить их эксплуатационную возможность, являются актуальными.

В данной работе рассматриваются вопросы проектирования и эксплуатации ковшовых элеваторов путем разработки рабочего органа КЭ, рассчитанного по прочности и позволяющего быстро и эффективно разгрузить материал.

Основные направления развития машин вертикального транспорта по повышению эффективности их использования определяются:

- совершенствованием методов расчета и проектирования;
- улучшением технологии разгрузки;
- совершенствованием конструкций рабочих органов.

На современном предприятии транспортные и технологические линии взаимосвязаны и представляют единую производственную систему [2, с. 10]. Правильно организованная и бесперебойная работа технологической линии, межцехового и внутрицехового транспорта являются таким же обязательным условием успешной работы предприятия, как рационализация производственных процессов.

Непрерывный характер технологического процесса на различных предприятиях промышленности требует применения высокопроизводительных машин непрерывного транспорта. Физико-механические свойства и объем транспортируемого материала, необходимость получения на одном предприятии нескольких видов готовой продукции при неравномерной отгрузке последней на внешний транспорт определяют типы технологических линий.

В соответствии с характером производства на различных отраслях промышленности транспортирующие машины представлены исключительно транспортирующими устройствами непрерывного действия, т.е. перемещающими груз непрерывным потоком.

Перемещающие сыпучие материалы, как по объему, так и по количеству масс велики, например грузопоток одной только доменной печи составляет 2000 т/ч различных грузов при круглосуточной работе, на электростанции районного значения обеспечивается подача к топкам ежесуточно 350 т/ч угля, грузопоток литейного цеха среднего машиностроительного завода составляет более 2000 т/ч различных грузов [24]. Естественно, перемещение такого количества груза может быть на основе высокоэффективного конвейерного транспортирования.

Машины непрерывного транспорта являются основными средствами комплексной механизации и автоматизации производства. Передача изделий с одной технологической линии на другую производится конвейерной передачей поточным методом или автоматической линией. Необходимые операции с изделиями: закалка, отпуск, очистка, охлаждение, окраска, сушка и упаковка и т.д. последовательно выполняется на движущемся конвейере [25].

Успешная работа современного предприятия базируется на массовой механизации производственных процессов, в первую очередь таких трудоемких и тяжелых изделий, как транспортирование материалов, деталей и изделий. Все транспортные операции, связанные с производственными процессами, выполняются внешним и внутризаводским промышленным транспортом. Внешний транспорт (железнодорожный, автомобильный, водный, воздушный) доставляет на предприятия сырье, топливо и вспомогательные материалы, а также вывозит готовую продукцию. Внутризаводской транспорт (краны, конвейеры и др.) перемещает сырье, полуфабрикаты и детали внутри цехов, между цехами и вывозит готовую продукцию на склад. Промышленный транспорт широко используют непосредственно в технологическом процессе изготовления или сборки выпускаемой продукции, например конвейеры. Таким образом, промышленный транспорт является составной частью производственного процесса. В нашей стране созданы совершенные грузоподъемные и транспортные машины, заменяющие тысячи рабочих рук. Однако внимание уделялось, главным образом, механизации основных производственных процессов. Механизация же вспомогательных операций и погрузочно-разгрузочных работ производилась недостаточно интенсивно, поэтому удельный вес ручного труда в некоторых отраслях промышленности высок. Совершенствование промышленного транспорта базируется на знании

теории рабочих процессов, расчета и конструкции машин, а также правильной организации технической эксплуатации оборудования [26].

Для создания работоспособных, экономичных и долговечных грузоподъемных и транспортирующих устройств необходимо сочетание теорий с практическим опытом конструирования и эксплуатации.

Транспортирующие машины непрерывного действия перемещают груз непрерывным потоком, в большинстве случаев по одной и той же определенной трассе.

Грузовой поток может быть в виде сплошной струи сыпучих или кусковых материалов, либо в виде отдельных порций этих материалов, а также штучных грузов.

Транспортирующие машины непрерывного действия применяют при перемещении одинаковых грузов. Для них характерна однотипность транспортирующих операций, поэтому они значительно легче поддаются автоматизации, чем грузоподъемные. Машины непрерывного действия с тяговым органом разнообразны по типам и конструкциям. Общим для них является наличие тягового органа, который одновременно может являться и рабочим органом (например, ленточные конвейеры) или нести на себе рабочие органы (элеваторы и др.). У всех машин непрерывного действия с тяговым органом, несмотря на конструктивные особенности, имеются узлы, теория рабочего процесса которых является общей. К числу общих вопросов этой теории относится определение коэффициента сопротивления передвижению и мощности двигателя, расчет приводного и натяжного устройства и др. По степени подвижности транспортирующие машины разделяют на стационарные и передвижные. Наибольшее распространение во всех отраслях промышленности получили конвейеры. Ленточные конвейеры предназначены для транспортирования насыпных (порошкообразных, мелко- и среднекусковых материалов), а также мелких штучных грузов в горизонтальном или близком к нему направлении. В цепных конвейерах груз лежит на пластинах (пластинчатые конвейеры) или в ковшах (ковшовые конвейеры). Пластинчатые конвейеры предназначены для транспортирования крупнокусковых, горизонтальном направлении или несколько наклонном. Ковшовые конвейеры предназначены для транспортирования насыпного груза в ковшах в горизонтальном, наклонном или вертикальном направлениях. Элеваторы служат для перемещения грузов в ковшах в вертикальном или круто-наклонном направлении. Как правило, транспортирующие устройства непрерывного действия работают без холостого хода, благодаря чему коэффициент их использования всегда выше коэффициента использования грузоподъемных машин периодического действия (например, кранов), которые после каждого рабочего хода должны возвращаться за новым порожним грузом. Чрезвычайно большое разнообразие видов грузов и условий их передвижения создало соответственно большое число типов транспортирующих устройств. Ковшовые элеваторы являются широко распространенными типами транспортирующих машин непрерывного действия с тяговым органом [27].

Ковшовый элеватор состоит из следующих элементов привода:

- электродвигателя;
- редуктора и муфты;
- станины;
- приводного барабана (приводной станции);
- натяжного барабана (натяжной станции);
- замкнутой бесконечной конвейерной ленты с ковшами, охватывающей приводной и натяжной барабаны и являющейся тяговым органом, рабочим органом которого являются ковши, несущие груз на грузовой ветви;
- натяжного устройства (грузового или винтового), обеспечивающего передачу требуемого окружного усилия и допустимый провес элеваторной ленты;
- загрузочного устройства (башмака) и разгрузочной головки для высыпания сыпучего материала;
- скребков (щеток) для очистки поверхности элеваторной ленты от прилипших к ней частиц перемещаемого груза;
- высота ковшовых элеваторов зависит от прочности элеваторной ленты. Обычно они имеют высоту транспортирования 13...800 м [21, с. 12] при одном приводном барабане и конвейерной ленте с текстильным кордом.

В качестве привода использован мотор-барабан, что позволило максимально уменьшить габариты элеватора по ширине и перенести натяжное устройство из башмака в головку для обеспечения подъема сырья практически с пола. Натяжное устройство выполнено в виде двух ползунов с опорными фланцами, в которых закреплены цапфы мотор-барабана, и двух винтов для натяжения. Ковшовая лента состоит из транспортной ленты и ковшей, привертнутых к ней специальными винтами. Между транспортной лентой и ковшами вдоль всей ленты устанавливаются два стальных тросика, предохраняющие ковшовую ленту от падения при обрыве и продляющие ее долговечность. Ковшовая лента размещена в коробе, выполненном из отдельных герметичных секций с двумя аварийными люками для ремонтных работ, закрытых привертными крышками с резиновыми прокладками.

Подвижное дно башмака позволяет отрегулировать расстояние между днищем и окружностью, описываемой внешней кромкой ковшей, для обеспечения возможно большего коэффициента заполнения и устранения заклинивания материала. Для наблюдения за работой ковшовой ленты выполнены смотровые люки в головке и башмаке элеватора. Дверки смотровых люков заблокированы с приводом элеватора так, что при их открывании обесточивается электродвигатель.

Современные элеваторы оснащены устройствами, автоматически реагирующими на изменение скорости вращения ведомого барабана при слабом натяжении или обрыве ковшовой ленты, отключающим мотор-барабан и подающим сигнал на пульт управления. Ведомый барабан снабжен останом в корпусе буксы подшипникового узла в виде откидной собачки для предохранения от обратного движения ковшовой ленты при обесточенном электродвигателе.

Элеваторы разработки ООО "Промтехлитъе" (приложение А3) по виду тягового элемента являются ленточными быстроходными с расставленными мелкими ковшами, тип ЛМ и ленточными быстроходными с расставленными глубокими ковшами, тип ЛГ (для подъема хорошо сыпучих грузов).

Загрузка ковшей осуществляется зачерпыванием груза из нижней части башмака элеватора. Разгрузка ковшей происходит в верхней части элеватора, головке, через выпускной лоток под действием центробежной силы.

Тяговым органом является резинотканевая многопрокладочная лента, выполненная в виде бесконечной кольцевой дорожки, которая огибает приводной и натяжной барабаны. В зависимости от температуры транспортируемого груза предприятием ООО "Промтехлитъе" устанавливаются ленты конвейерные: общего назначения ($T = 10 - 30^{\circ}\text{C}$) или повышенной теплостойкости (T до 200°C) производства России.

Между основными узлами элеватора, башмаком и головкой, монтируется кожух, внутри которого и происходит движение ковшей с грузом. Кожух выполнен в виде нескольких прямоугольных труб из листового металлопроката небольшой толщины, герметично скрепленных между собой болтовыми соединениями.

Основное достоинство конструкции элеваторов - герметичность. Это позволяет транспортировать пылящие грузы и значительно улучшить условия труда для обслуживающего персонала.

В цепных элеваторах тяговым органом является цепь, к которой приклёпаны лотки необходимого объема (в зависимости от нагрузки шаг цепи обычно выбирается из ряда 50 мм, 100 мм, 160 мм, 250 мм.).

В ленточных элеваторах лотки закреплены непосредственно на ленте, которая приводится в движение приводным барабаном, а натяжение ленты регулируется натяжным барабаном. (Здесь применяют резинотканевые и специальные ленты шириной 300-800 мм.).

Элеваторы нашли широкое применение при транспортировке горячих, химически активных и пылящихся грузов, в том числе и при условиях воздействия неблагоприятных производственных факторов.

Загрузка элеватора обычно осуществляется через загрузочный патрубок или самозачерпыванием снизу. В качестве приводов используются мотор-редукторы или мотор - барабаны. Защитные - несущие секции могут быть изготовлены из чёрного металла, нержавеющей стали или другого конструкционного материала.

Производительность ковшовых элеваторов зависит от емкости ковша, скорости движения конвейерной ленты, коэффициента заполнения ковша, характеристик транспортируемого груза и может лежать в весьма широких пределах (от нескольких десятков до десятка тысяч тонн/ч). Серийно выпускаемые ковшовые элеваторы имеют ширину ковша до 1,8 м при скорости движения 1...5 м/с [28].

Для механизации погрузочно-разгрузочных работ на складах, в цехах и на строительных площадках широко применяют ковшовые элеваторы общего назначения. Такой ковшовый элеватор комплектуется заводами-изготовителями

из отдельных узлов: барабанов (приводного, натяжного), очистного устройства для конвейерной ленты и барабанов (состоит из скребков или вращающихся щеток), загрузочного и разгрузочного патрубка устройства. Станины, на которых крепят рамы приводов, а также натяжное устройство с поддерживающими роликоопорами серийно не выпускают, для каждого элеватора их необходимо проектировать отдельно.

Основными параметрами серийных ленточных элеваторов являются ширина конвейерной ленты, ковша, скорость движения тягово-несущего органа и диаметр приводного барабана. В ленточных транспортерах чаще всего применяются конвейерные ленты из хлопчатобумажной, синтетической или смесевой ткани, покрытые резиной, обычно называемые резинотканевыми конвейерными лентами. Значительно реже ставят конвейерные ленты пеньковые и хлопчатобумажные. Основу резинотканевых конвейерных лент составляют несколько слоев хлопчатобумажной, синтетической или смесевой ткани с резиновой пропиткой, покрытых снаружи утолщенным слоем резины. Слои ткани придают конвейерной (элеваторной) ленте прочность и сопротивление продольному растяжению, а резина является материалом, связующим и предохраняющим основную ткань от механического повреждения и действия сырости. В зависимости от условий работы транспортера (натяжения ленты) применяются конвейерные ленты с числом слоев ткани (прокладок) от двух до десяти. Толщина каждой прокладки (ткани, пропитанной резиной) в зависимости от типа ткани 1.1...1.7 мм, толщина наружной резиновой обкладки от 0,75 до 8 мм. Разрывающая нагрузка на конвейерные ленты составляет от 65 кг до 400 кг на 1 пог. см. ширины каждого слоя конвейерной ленты, а допускаемое рабочее натяжение $1/12-1/16$ от разрывающей нагрузки. Так для конвейерной ленты шириной 400 мм из хлопчатобумажной ткани БКНЛ-65-2 в три прокладки разрывающая нагрузка составляет $65 \cdot 40 \cdot 3 = 78000$ Н, а допускаемое рабочее напряжение ленты при допускаемом натяжении на 1 пог. см. ширины $65/12 = 5,42$ составит: $T = 5,42 \cdot 40 \cdot 3 = 6504$ Н. В последнее время широкое распространение получают стальные конвейерные ленты. Их изготавливают методом холодной прокатки, толщиной 0,6-1,4 мм, шириной до 650 м. Известно, что конвейерная лента приводится в движение (так же, как и приводной ремень) трением о поверхность барабана. Усилие, которое может быть передано барабаном конвейерной ленте, зависит от угла обхвата барабана лентой и мощности электродвигателя, приводящего в действие барабан; при недостаточности первого барабан начинает скользить по конвейерной ленте, при недостаточности второго он не тянет её. Во избежание скольжения при передаче больших усилий на протяженных тяжело нагруженных транспортерах для увеличения коэффициента трения f поверхность барабана обтягивают кожей или резиной, а также обшивают их деревянными планками. Для увеличения угла обхвата чаще всего устанавливают направляющий барабан или так называемый "тандем-привод", т.е. конвейерную ленту, огибающую два барабана, получающих движение от одного привода. Необходимо отметить, что при последнем способе конвейерная лента сильно изнашивается вследствие

неодинакового натяжения на обоих барабанах и троекратного перегиба на обе стороны. Наиболее рациональным способом для увеличения сцепной силы между конвейерной лентой и барабаном является применение добавочной нажимной ленты, которая прижимает рабочую ленту к барабану и этим увеличивает трение конвейерной ленты [29]. Передача движения от электродвигателя к барабану ременная, в зависимости от передаточного числа с одной или двумя парами зубчатых колес, или через редуктор. Отличительными свойствами технологических линий при переработке колоссального количества насыпных грузов являются отличительная независимость их производительности от расстояния перемещения груза и возможность комплексной механизации и автоматизации производственного процесса, что позволяет решать следующие задачи:

- обеспечение бесперебойной работы технологического оборудования и возможности автоматизации всего производственного процесса;
 - возможность обеспечения высокой производительности при большой протяженности и разветвленности транспортных коммуникаций;
 - обеспечение минимального количества узлов перегрузки транспортируемого материала с одного транспортного устройства на другое;
 - снижение трудоемкости и энергоемкости транспортных операций;
- обеспечение условий труда обслуживающего персонала.

Особую роль в повышении технического уровня промышленных объектов Казахстана играет комплексная механизация и автоматизация предприятий, интенсивное развитие которых идет по пути совершенствования машин подъемного и непрерывного транспорта.

Уникальные фосфоритные удобрения в бассейнах Каратау являются второй сырьевой базой по запасам фосфатного сырья в РК и при восстановлении выпуска продукции заводами и акционерными обществами обеспечили бы потребность при производстве минеральных удобрений, желтого фосфата и его солей [30].

На территории бассейна имеются 45 отдельных месторождений, такие как Аксай, Жанатас, Кокджан и Коктау, на которых установлены запасы РК. Большое значение для Каратау имеет внедрение циклично-поточной технологии. На дробильно-сортировочной фабрике карьера установлены транспортирующие комплексы, включающие конвейеры, изготовленные институтом «Гипроникель» по схеме Спиваковского А.О. [2, с. 10], а также конвейер с переменным шагом по конструкции Джиенкулова С.А., позволяющие экономно размещать технологическое оборудование, значительно сократить число роlikоопор.

В настоящее время в промышленных отраслях СНГ, Казахстана, в т.ч. в подземных рудниках используются как ленточные конвейеры КЛЗ-500; КЛЗ-600, так и ковшовые элеваторы, ленточные: ЛГ-100, ЛГ-160, ЛГ-200, ЛГ-250, ЛГ-320, ЛГ-400, ЛГ-500, 2ЛГ-250, Л-950А, так и цепные ЦО-250М, ЦО-320М, ЦС-400, ЦСК-315, ЦСК-400, ЦГТ-650С, ЦГТ-800С, ЦГТ-1000С, производства Артемовского, Александровского машиностроительного завода, элеваторы