

Министерство образования и науки Украины  
Днепродзержинский государственный технический университет

На правах рукописи

ЧАСОВ ДМИТРИЙ ПАВЛОВИЧ

УДК 621.867.427

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ШНЕКОВОГО КОНВЕЙЕРА С  
ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМИ ЛОПАСТЯМИ ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ  
СТРУЖКИ

Специальность 05.05.05 – подъемно-транспортные машины

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Научный руководитель:

Тихонцов А.М., д.т.н., профессор

Днепродзержинск – 2015

## СОДЕРЖАНИЕ

ВСТУПЛЕНИЕ	4
РАЗДЕЛ 1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ	11
1.1 Характеристика областей применения конвейерного транспорта	11
1.2 Анализ конструкций шнеков и шнековых конвейеров	17
1.3 Анализ научных работ по исследованию шнековых конвейеров	22
1.4 Цели и задания	28
Выводы к разделу 1	29
РАЗДЕЛ 2 ОБОСНОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ШНЕКОВОГО КОНВЕЙЕРА С УСТАНОВЛЕННЫМИ ЛОПАСТЯМИ НА ТЕЛЕ ПЕРА ШНЕКА	31
2.1 Теоретическое определение зависимости углов атаки и углов начала движения	31
2.2 Определение влияния углов атаки и начала движения на величину движущей силы	36
2.3 Определение критической частоты вращения шнека	40
2.4 Определение энергоемкости шнекового конвейера с дополнительными лопастями	51
2.5 Определение производительности шнекового конвейера с дополнительными лопастями	53
Выводы к разделу 2	71
РАЗДЕЛ 3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ШНЕКОВОГО КОНВЕЙЕРА	72
3.1 Методика исследования процесса перемещения материала шнековым конвейером с установленными и закрепленными лопастями на самом теле пера шнека	72

3.2 Экспериментальный стенд и измерительная аппаратура	83
3.3 Результаты эксперимента	87
Выводы к разделу 3	120
<b>РАЗДЕЛ 4 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ И РЕКОМЕНДАЦИИ ОТНОСИТЕЛЬНО ЭФФЕКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ШНЕКОВОГО КОНВЕЙЕРА ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ СТРУЖКИ</b>	121
4.1 Определение эффективных параметров угла атаки и количества лопастей, наполняемости желоба шнекового конвейера	121
4.2 Шнековый конвейер усовершенствованной конструкции	129
Выводы к разделу 4	132
<b>ВЫВОДЫ</b>	134
<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ</b>	136
Приложение А Акт внедрения в образовательный процесс высшего учебного заведения	153
Приложение Б Акт внедрения в производство	154
Приложение В Акт внедрения в производство	155
Приложение Г Акт испытания	156
Приложение Д Патент Украины на полезную модель	157
Приложение Е Патент Украины на полезную модель	159

## ВСТУПЛЕНИЕ

**Актуальность темы.** Одной из острых проблем машиностроения Украины является переработка и утилизация отходов процессов механической обработки – стружки и шлама. Ввиду того, что процесс переработки и утилизации осуществляется не на территории механических цехов и заводов, то вырождается не менее важная проблема транспортирования отходов от станка на последующие этапы переработки. Усредненные данные по массе металлоабразивных отходов одного машиностроительного предприятия составляют от 100 до 3000 т/год. Количество образующейся стружки и шлама в масштабах страны позволяет судить о глобальности вопроса. Наряду с экономической целесообразностью вопроса транспортирования отходов металлорежущих станков к участкам переработки, открытой остается и экологический аспект вопроса, поскольку хранение отходов влечет за собой бактерицидные образования, ввиду наличия на стружке элементов органического происхождения, входящих в состав СОЖ.

Процентное соотношение распределения стружки по видам следующее:

- сливная – 35%;
- скальвания – 30%;
- надлома – 25%;
- шлам – 10%.

Для транспортирования стружки используется конвейерный транспорт. Транспортирование отходов от станка до общецеховой магистрали представляет собой перемещение стружки на расстояние до 2-х метров. Транспортный канал находится ниже уровня пола.

Транспортирование стружки от станка предусматривает подъем уровня материала. Исходя из технических характеристик, для транспортирования

стружки от станка до общецеховой магистрали допустимо применимыми являются шнековый и гидросмывной конвейера. Однако, гидросмывной конвейер не обеспечивает подъем материала выше чем на  $10^\circ$  и энергозатраты превышают шнековый конвейер на малых расстояниях, что является в данном случае доминирующим фактором, до 3-х раз. Ввиду вышесказанного, шнековый конвейер является идеальным для транспортирования стружки от станка к общецеховой магистрали.

Годовая масса отходов в виде стружки образовывается и транспортируется в течении всего года. Количество стружки, поступающей в желоб конвейера, не равномерно распределено в течении года и каждой отдельной смены. Ввиду этого конвейер не постоянно и неравномерно загружен. Если конвейер использовать только в дежурном режиме и включать только при определенном наполнении, то возможен момент невозможности транспортирования из-за недостаточной производительности конвейера. Для избегания подобных ситуаций можно применить конвейер, содержащий более габаритный желоб и следовательно обладающим большей производительностью. Использование желоба больше диаметра предусматривает и использование большего шнека, как основного элемента винтового конвейера, отвечающего за производительность. Тем не менее увеличение габаритных размеров влечет за собою и увеличение энергоемкостных затрат и расходов на обслуживание конвейера. Ввиду вышесказанного целесообразно и энергоэффективнее использовать малогабаритные шнековые конвейера в постоянном режиме работы, а момент резкого увеличения наполняемости желоба компенсировать модернизацией конструкции шнекового конвейера с сохранением габаритных размеров и энергоемкости привода.

Согласно с концепцией перехода Украины к стойкому развитию, одним из стратегических мероприятий в промышленном секторе является внедрение безотходных или малоотходных технологий и рациональное использование ресурсов. Развитие промышленности предусматривает и

увеличение продуктивности вспомогательных процессов. Однако, в современном мире является нецелесообразным увеличение производительности за счет природных ресурсов. Прирост производительности необходимо получать за счет конструктивных и технологических модернизаций и инноваций. Таким образом внедрение конструктивных модернизаций приводит не только к уменьшению технологической нагрузке на окружающую среду, но и к энерго- и ресурсосбережению, что является актуальным научно-практическим заданием для промышленности Украины.

### **Связь работы с научными программами, планами, темами.**

Работа выполнялась по плану научно-исследовательских работ Днепропетровского государственного технического университета в 2014 году по теме «Разработка и совершенствование технологии и оборудования для транспортирования, очистки и переработки металлической стружки и шлама и смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ) металлорежущих станков», государственная регистрация № 0114u005531.

**Цель и задачи исследования.** Целью диссертационной работы является повышение производительности и уменьшение энергоемкости процессов транспортирования металлической стружки шнековым конвейером. Достижение поставленной цели предусматривает решение следующих задач:

- анализ условий применения шнековых конвейеров в механических цехах промышленных предприятий, изучение их конструкций и требований, предъявляемых к шнековым конвейерам;
- анализ результатов научных исследований шнековых конвейеров, определение направлений их дальнейшего развития;
- исследование механизма взаимодействия металлической стружки с дополнительными лопастями на спирали шнека, установление эффективных значений угла атаки и количества дополнительных лопастей;

- исследование влияния угла атаки и количества дополнительных лопастей на производительность шнекового конвейера, установление теоретической зависимости для определения критической частоты вращения шнека;
- определение влияния наполняемости желоба на энергоемкость процесса транспортирования металлической стружки шнековым конвейером с дополнительными лопастями;
- разработка усовершенствованной конструкции шнекового конвейера.

**Объектом исследования** является процесс транспортирования материалов шнековым конвейером с установленными и закрепленными лопастями на самом теле пера шнека.

**Предметом исследования** является шнековый конвейер с дополнительными лопастями на спирали шнека и взаимосвязи между его конструктивными та функциональными параметрами.

**Методы исследования.** Для решения поставленных в диссертации задач использовался экспериментально-аналитический метод исследований, позволяющий получить результаты, адекватные действительности. При этом реализованы методы планирования эксперимента, математического моделирования, поискового конструирования, проведение стендовых испытаний экспериментальных образцов шнековых конвейеров.

**Научная новизна полученных результатов:**

- впервые теоретически обосновано положительное влияние дополнительных лопастей шнекового конвейера на уменьшение подъемно-движущей силы для перемещения металлической стружки, вследствие уменьшения сил трения между частицами транспортируемой металлической стружки, которое достигается за счет частичного удаления дополнительными лопастями слоя транспортируемой металлической стружки из общего ручья в желобе шнекового конвейера;

- получена математическая зависимость для определения эффективного угла начала движения металлической стружки по дополнительной лопасти спирали шнека, который находится в пределах от  $-28,7^\circ$  до  $8,7^\circ$  в поперечном сечении;
- теоретически установлено влияние угла атаки дополнительных лопастей шнека на его транспортирующую способность, на основе которой получена теоретическая зависимость, позволяющая определять критическую частоту вращения шнека с установленными дополнительными лопастями, которая находится в пределах  $0,31-0,42 \text{ с}^{-1}$ ;
- впервые научно обоснованы величины эффективных угла атаки дополнительных лопастей в пределах  $40-50^\circ$  и количества дополнительных лопастей от 2 до 4 штук, а также наполняемость желоба шнекового конвейера до 30%;
- аналитически доказано, что установление дополнительных лопастей на самом теле пера шнека способствует снижению энергоемкости на 25-30% и повышению производительности процесса транспортирования металлической стружки на 30-40%.

**Практическое значение полученных результатов заключается в следующем:**

- разработан, изготовлен и испытан в лабораторных и промышленных условиях опытный образец шнекового конвейера, который может быть использован при проектировании аналогичных конвейеров для конкретных цеховых условий применения;
- результаты проведенных экспериментальных и теоретических исследований позволили разработать методики расчета технологических и конструктивных параметров, практические рекомендации для конструирования шнековых конвейеров с дополнительными лопастями;
- по результатам исследований разработана оригинальная конструкция шнекового конвейера с дополнительными лопастями;

- основные результаты, полученные в диссертационной работе, включены в дисциплину «Проектирование машиностроительных заводов», преподаваемой на кафедре «Технологии машиностроения» ДГТУ;
- экономический эффект от использования шнекового конвейера с дополнительными лопастями на машиностроительных и промышленных предприятиях составил 42620 грн/год.

**Личный вклад соискателя.** Автором диссертации определены цель и задачи исследований, совершено поиск их решений, проведено теоретические и экспериментальные исследования. Главные результаты теоретических и практических исследований, изложенных в диссертационной работе, опубликованы в научных трудах, которые приведены в списке публикаций автореферата [1-11]. Личный вклад заключается в следующем:

- определены основные причины недостаточной производительности конвейерного транспорта и предложены методы ее повышения [130, 131, 132, 133], на что был получен патент Украины на полезную модель № 64781 [86];
- проведено математический анализ и аналитически уточнено величину влияния количества дополнительных лопастей и степень наполнения желоба на производительность шнекового конвейера [134];
- разработана методика определения эффективного угла начала движения материала и атаки дополнительных лопастей и уточнено математическую модель движущей силы шнекового конвейера с дополнительными лопастями [135, 136, 137, 138];
- разработана конструкция шнекового конвейера с дополнительными лопастями, на которую получен патент Украины на полезную модель № 83441 [128].

**Апробация результатов диссертации.** Результаты работы были представлены при отчете аспирантов на заседаниях кафедры «Технологии машиностроения» механического факультета, а также структурных

подразделений ДГТУ в 2011-2014 гг. (г. Днепродзержинск). Также работа прошла апробацию на:

- V научно-технической конференции «ресурсосбережение и энергоэффективность процессов и оборудования обработки давлением в машиностроение и металлургии», Харьков, 2013 г.;

- Межгосударственной научно-методической конференции «Проблемы математического моделирования», Днепродзержинск, 2014 г.

В полном объеме работа докладывалась и получила положительный отзыв на заседании научного семинара механического факультета Днепродзержинского государственного технического университета и на научно-техническом семинаре Тернопольского национального технического университета имени Ивана Пулюя.

**Публикации.** По результатам выполненных исследований опубликовано 9 научных статей в изданиях, рекомендованных ВАК Украины, получено 2 патента Украины на полезную модель (Пат. №64871 и №83441).

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, общих выводов, приложений и списка использованной литературы. Полный объем диссертации составляет 160 страниц, включая 135 страниц основного текста, 36 таблиц, 91 рисунок, 6 приложений и списка использованных источников из 138 наименований.

Диссертация выполнена на кафедре «Технологии машиностроения» Днепродзержинского государственного технического университета.

## РАЗДЕЛ 1

### СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

#### **1.1 Характеристика областей применения конвейерного транспорта.**

Конвейерный транспорт в большинстве стран мира получает все более широкое применение на промышленных предприятиях для внутривозовских перевозок грузов – межцеховых и внутрицеховых [1]. Также конвейерный транспорт широко используется для транспортирования металлической стружки (сливной, скалывания, надлома), количество которой стремительно растет с увеличением производственных мощностей механических предприятий на территории Украины (табл. 1.1).

Стремительное развитие конвейерного транспорта обусловлено следующими факторами: непрерывность работы, низкая себестоимость транспортирования, простота обслуживания, горизонтальное и наклонное транспортирование.

Конвейерный транспорт получил широкое применение в машиностроении, черной металлургии, химической промышленности, промышленности строительных материалов, легкой и пищевой промышленности и др.

Конвейерный транспорт в промышленности представлен следующими типами: ленточно-пластинчатый, скребковый, шнековый, вибрационный, импульсный, магнитный и гидравлический [2].

Ленточные конвейеры применяются для транспортирования на поверхности ленты (пластин) всех видов стружки. Основными недостатками ленточных конвейеров является провисание и разрыв ленты, что приводит к потере транспортируемой стружки и заклиниванию привода.

**Металлоабразивные отходы ряда металлургических предприятий  
Украины 2013 г.**

Предприятие	Группа обрабатываемой стали	Способ сбора отходов	Масса металлоабразивных отходов в год, т
«Днепроспецсталь», г. Запорожье	Инструментальная, быстрорежущая, коррозионностойкая, подшипниковая	Бункер- накопитель	>3000
«Запорожсталь», г. Запорожье	Углеродистая, конструкционная, легированная, коррозионностойкая	Контейнер	200
Енакиевский метзавод	Инструментальная, быстрорежущая, коррозионностойкая, подшипниковая	Бункер- накопитель	>1000
Алчевский металлургический комбинат	Конструкционная среднелегированная	Контейнер	~100
«Криворожстапль», г. Кривой Рог	Конструкционная углеродистая	Бункер- накопитель	~100

Скребковые и тележечно-скребковые конвейеры транспортируют материал с помощью погруженного скребка, закрепленного на цепи. Транспортирование стружки скребковым конвейером в общем случае, предусматривает защиту приводных элементов от попадания в них частиц транспортированного материала, что может вызвать заклинивание. Также значительные габаритные размеры скребковых конвейеров препятствуют широкому использованию их в мелкосерийном производстве.

Вибрационный, импульсный и магнитный способы транспортирования стружки, помимо малой производительности, имеют высокую энергоемкость,

что приводит к их не распространенности для перемещения металлической стружки в производственных объемах.

Пневматический и гидравлический (гидросмывной) способы транспортирования отходов металлообрабатывающих станков являются неэффективными, поскольку трубопровод рассчитан для транспортирования элементов с гладкой внешней поверхностью, каковой металлическая стружка не является.

Для транспортирования отходов от станка до общецеховой магистрали, перемещение стружки до которой представляет собой расстояние до 2-х метров, наиболее использованными являются шнековые конвейера, введу своих конструкционных и технических преимуществ (табл. 1.2).

Таблица 1.2

#### Технические характеристики конвейерного транспорта.

Тип	Расстояние транспортирования, м	Производительность, т/ч	Потребляемая мощность, кВт/ч	Габаритные размеры, диаметр, ширина, м	Вид транспортируемой стружки	Угол подъема,	энергоёмкость транспортируемого материала, кВт/т
Ленточно-пластинчатый	2-100	5-125	30-125	500-1600	Скалывания, надлома	45°	6-1
Скребковый	20-100	20-200	22-110	500-1200х 500-700	надлома	40°	1,1-0,55
Шнековый	0,5-30	2-45	1,5-24	100-1000	надлома	30°	0,75-0,55
Гидросмывной	0,5-10	0,5-60	1,1-50	20-400	Шлам, надлома	10°	2,2-0,85

Общим недостатком всех механических конвейеров является расположение силовых транспортирующих органов в зоне перемещения стружки. Это приводит к тому, что приводные элементы подвержены воздействию СОЖ, а стружка, находящаяся между дном желоба и транспортирующими элементами, способствует интенсивному износу поверхности желоба.

Беря во внимание все вышеуказанное, следует вывод о рациональности использования шнекового конвейера для транспортирования стружки в промышленных масштабах, введу его конструктивных и технологических особенностей. Однако достаточно открытым является вопрос о повышении производительности винтового конвейера путем доработок, модернизаций и изменений конструктивных элементов.

Шнек, или винт, – это элемент машины, с помощью которого могут транспортироваться жидкие, высоковязкие и твердые вещества. Транспортирующие («подающие») шнеки известны уже много веков. Например, наклонно установленные винты Архимеда использовались в римских системах водоснабжения для непрерывной подачи воды на более высокие геодезические уровни [3]. Для сыпучих материалов транспортирующие шнеки начали применяться в горном деле, сельском хозяйстве и производствах, связанных с обработкой камней, минералов, а также в пищевой и химической промышленности более 100 лет назад [4].

Высоковязкие пластичные среды уже около столетия экструдируют с помощью шнековых машин. В первую очередь для переработки каучуков и термопластичных синтетических полимерных материалов были разработаны шнековые экструдеры, в которых за счет подведения тепла от внешних источников полимерные материалы переводятся в пластичное состояние и затем продавливаются через фильеры и головки, преодолевая сопротивление этих формирующих инструментов [5, 6, 7]. Для транспортировки маловязких жидкостей были созданы двухвальные противовращающиеся самовсасывающие винтовые насосы с напором (противодавлением) до

$20 \cdot 10^6$  Па ( $200 \text{ кгс/см}^2$ ), которые в первую очередь находят применение в судостроении и нефтеперерабатывающей промышленности. С помощью двухвальных противовращающихся винтовых компрессоров могут перекачиваться газы с расходом до  $22 \cdot 10^3 \text{ м}^3/\text{ч}$  при максимальном противодавлении  $1,4 \cdot 10^6$  Па ( $14 \text{ кгс/см}^2$ ) [8].

При транспортировке подаваемый материал может подвергаться дополнительным воздействиям, зависящим от конструктивного исполнения шнеков, корпусов и типа привода машин.

В последние 100 лет разработаны шнековые машины различных типов (в том числе со специальными конструктивными отличиями) для проведения процессов совмещения материалов, разделения сред и взаимодействия веществ.

Достаточно широкое применение шнековых конвейеров было достигнуто благодаря следующим преимуществам винтовых конвейеров:

- простая конструкция винта в форме спирали позволяет более эффективную транспортировку груза и низкую стоимость изделия;
- простота конструкции позволяет легко производить монтаж конвейера;
- установка агрегата под углом  $45^\circ$  и более градусов дает возможность экономить производственные площади. Современное производство дополнило шнек новыми основными узлами: подшипниковые опоры, разгрузочные и загрузочные патрубки, монтажные фланцы для надежного соединения узловых частей, усовершенствованные модели редуктора и приводного электродвигателя.

Применение шнековых машин переросло первоначальное и широко известное их использование для подачи сыпучих материалов, экструзии пластических масс и каучуков и охватывает в настоящее время почти все технологические процессы с участием сыпучих веществ, пластических и упруговязких сред. Особое значение при этом имеют технологические процессы смешения, гомогенизации, отжима, фильтрации, сушки,

выпаривания, а также, химические реакционные процессы в вязкопластичных фазах.

Так как непрерывный режим работы вообще характерен для шнековых машин, развитие их в отдельных областях техники шло параллельно с переводом рабочих процессов с периодического на непрерывный метод производства. Часто с помощью шнековых машин можно проводить одновременно несколько технологических операций (например, смешение, диспергирование, дегазацию), так что совмещением отдельных рабочих стадий может быть достигнута значительная экономическая эффективность по сравнению с многостадийными (многоступенчатыми) процессами производства. В других случаях только шнековые машины создали предпосылки для непосредственного, «прямого» решения технических задач, выполнение которых требовало привлечения «обходного» технологического пути, связанного со значительными затратами. Это справедливо, например, для процесса концентрирования растворов полимеров, который до разработки специальных шнековых испарителей мог быть проведен только с помощью побочной водопаровой дистилляции и сопутствующей ей операций удаления растворителя и сушки твердого компонента. Также в значительной мере нашли применения шнековые машины и машиностроении, как внутрицеховой и вспомогательный транспорт.

При современном уровне развития техники основные области применения шнековых машин могут быть объединены в шесть технологических групп: 1) транспортировка (подача) и дозирование; 2) экструзия; 3) процессы совмещения веществ (материалов); 4) процессы разделения веществ (материалов); 5) процессы взаимодействия (химического превращения) веществ; 6) теплообменные процессы. [9]

## 1.2 Анализ конструкций шнеков и шнековых конвейеров

Классификация шнековых машин может быть проведена по различным принципам и критериям. Очевидным является подразделение по числу шнеков (валов), направлению их вращения и другим конструктивным признакам. Однако если принять во внимание многообразие возможных областей применения шнековых машин и представить себе насколько отличаются, например, двухшнековые дозаторы с вращением рабочих органов в одном направлении для сыпучих материалов и двухшнековые машины с аналогичной кинематикой для гомогенизации пластических масс, то станет ясно, что подразделение по конструктивным критериям не может иметь большого смысла.

Целесообразная классификация должна исходить из учета поставленных технологических задач [10]. В пользу этого подхода свидетельствует хотя бы то, что конструктивное исполнение машины должно также соответствовать технологическим задачам. Таким образом, правильнее классифицировать шнековые машины по тем же признакам, что и технологические процессы.

Различают следующие типы шнековых машин:

1. Транспортирующие шнеки (шнековые конвейеры);
2. Винтовые насосы;
3. Дозирующие шнеки (шнековые дозаторы);
4. Шнековые экструдеры (червячные прессы);
5. Шнековые смесители:
  - а) шнековые смесители для сыпучих твердых материалов;
  - б) шнековые смесители для жидких фаз (сред);
  - в) шнековые смесители – шнековые пластикаторы для пластичных и упруговязких систем.
6. Шнековые классификаторы;
7. Отжимные шнеки (шнек-прессы, фильтр-прессы);

## 8. Шнековые испарители:

- а) шнековые испарители для сыпучих твердых материалов;
- б) шнековые испарители для пластических масс и упруговязких систем.

## 9. Шнековые реакторы;

## 10. Шнековые теплообменники [9].

Также необходимо отметить особую разновидность винтовых конвейеров – транспортирующие трубы. Транспортирующие трубы предназначены для транспортирования горячих грузов, а также грузов, выделяющих вредные газообразные вещества. Транспортирующие трубы отличаются сравнительной простотой и надежностью конструкции и возможностью создания герметичности процесса транспортирования.

В транспортирующей трубе по ее внутренним стенкам укрепляется спираль. Высота гребня спирали принимается обычно равной  $(0,2—0,3)D$ . При вращении трубы, устанавливаемой в зависимости от размеров трубы на двухроликовых или на четырехроликовых опорах, груз за один оборот трубы перемещается на размер шага спирали. Так как при вращении трубы груза все время перемешивается и крошится, то транспортирующие трубы не применяют для перемещения грузов, которые не должны измельчаться. Транспортирующие трубы с винтовой спиралью могут быть установлены горизонтально или с небольшим наклоном вверх или вниз. Разновидностью конструкций этого типа являются трубы без спирали, устанавливаемые всегда с наклоном вниз по направлению движения груза и используемые в качестве технологических агрегатов для обжига, сушки, смешивания различных материалов.

К недостаткам транспортирующих труб относят большие габариты и массу, высокий расход энергии [11].

Принципиальное строение винтового конвейера состоит из следующих узлов и деталей: корпуса (1), подающего винта (шнека) (2), подшипниковых опор (3), загрузочного и разгрузочного патрубков (4) монтажных фланцев (5), редуктора (6) и приводного электродвигателя (7) (Рис. 1.1). При вращении

подающего винта транспортируемый материал перемещается от загрузочного окна к разгрузочному [12].

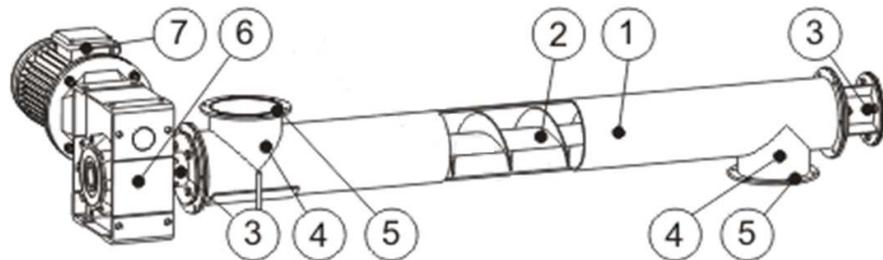


Рис. 1.1. Строение винтового (шнекового) конвейера (общий вид).

Однако в виду особенностей транспортируемых грузов классифицируют винтовые конвейера по расположения привода подающего винта: толкающие и тянущие винтовые (шнековые) конвейера [13].

Винтовые конвейера выполняют горизонтальными или пологонаклонными и вертикальными или крутонаклонными. Также как подвид изготавливают бесстержневые и гибкие шнеки.

Горизонтальный (или пологонаклонный) винтовой конвейер состоит из винта в виде расположенного в подшипниках продольного вала с укрепленными на нем винтовыми витками, желоба с полуцилиндрическим днищем, в котором винт размещен соосно, и привода (электродвигатель и редуктор), вращающего винт. Насыпной груз подается в желоб через одно или несколько отверстий в его крышке и при вращении винта скользит вдоль желоба, подобно тому, как движется по винту гайка, удерживаемая от совместного с ним вращения. Совместному вращению груза с винтом препятствует сила тяжести груза и трение его о желоб. Разгрузка желоба производится через одно или несколько отверстий в днище, снабженных затворами.

Винт конвейера выполняют с правым или левым направлением спирали, одно-, двух- или трехзаходным. Поверхность винта может быть сплошной, ленточкой или прерывистой в вале отдельных лопастей фасонной

формы (рис. 1.2). Винт со сплошной поверхностью применяют преимущественно при перемещении сухого мелкозернистого и порошкового насыпного груза, не склонного к слеживанию; с ленточной, лопастной и фасонной - при перемещении слеживающихся грузов. Кроме того, лопастный и фасонный винты используют в тех случаях, тогда при перемещении груз должен быть выполнен еще и определенный технологический процесс, например интенсивное перемешивание.

Витки лопастного и ленточного винта изготавливают штамповкой их стального листа или полосы, а затем приваривают к валу. Спираль ленточного и лопасти лопастного винта укрепляют на стерженьках, пропускаемых через просверленные в валу отверстия.

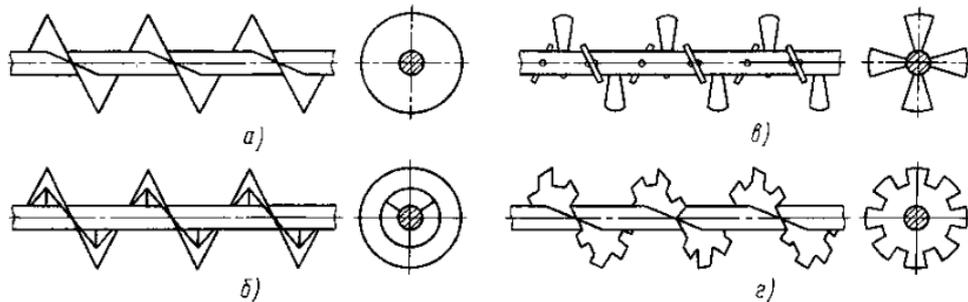


Рис. 1.2. Разновидности винтов шнековых конвейеров:

*a* – полностенный (со сплошной винтовой поверхностью);

*б* – ленточный; *в* – лопастный; *г* – фасонный.

Вал винта, состоящий для удобства сборки из отдельных секций, может быть сплошным или трубчатым. Трубчатые валы имеют меньшую массу, и их более удобно скреплять между собой с помощью вставляемых по концам коротких соединительных валиков. Вал винта лежит в промежуточных и концевых подшипниках. Промежуточные подшипники подвешиваются сверху на укрепленных в желобе поперечных планках. Они должны иметь малые диаметр и длину (так как витки винта на эту длину приходится прерывать), а также надежное уплотнение во избежание загрязнения

частицами груза. Нередко это подшипники скольжения, в которых вращаются соединительные валики. Смазка к подшипникам подводится по трубкам от пресс-масленок, расположенных сверху на планках. Концевые подшипники укрепляют в торцовых стенках желоба. Один из них делают упорным и устанавливают обычно со стороны, в которую перемещается груз, для восприятия действующей вдоль вала осевой растягивающей силы.

Вертикальные винтовые конвейеры относятся к конвейерам специального типа. Конвейер состоит из подвешенного на упорном подшипнике вала со сплошными винтовыми витками, вращающегося в цилиндрическом кожухе (трубе); короткого горизонтального винта-питателя, тоже вращающегося в трубе, и одного или двух отдельных приводов для обоих винтов. Разгрузка конвейера производится через патрубок вверху кожуха. Нижний участок вертикального винта, в который подается груз, делают либо переменного, уменьшающегося кверху диаметра, либо с уменьшенным шагом. При большой высоте конвейера во избежание биения вала иногда устанавливают промежуточные подшипники.

Движение насыпного груза вверх вдоль вертикального винта происходит следующим образом. Груз, подаваемый горизонтальным, регулирующим производительность винтом к вертикальному винту, приводится последним во вращение. При этом груз под действием центробежной силы прижимается к поверхности цилиндрического кожуха и под действием силы трения о нее и силы тяжести несколько отстает в движении от винтовой поверхности, т. е. вращается с меньшей угловой скоростью, чем угловая скорость винта; следовательно, подобно гайке, которая притормаживается на вращающемся винте, груз получает относительное движение вдоль оси винта, совершая абсолютное движение по винтовой траектории, но с меньшей осевой скоростью, чем скорость перемещаемой по этому винту невращающейся гайки [14].

Бесстержневые шнеки предназначены для горизонтального, наклонного и вертикального транспортирования порошкообразных, а также кусковых

материалов различной степени абразивности, объемным весом до 3500 кг/м<sup>3</sup> включительно. Из-за отсутствия центрального вала степень заполнения бесстержневого шнекового конвейера материалом выше, нежели в шнеках «классической» конструкции.

Гибкие шнеки. Гибкая спираль, установленная в данном типе шнека, позволяет организовывать сложные плоские и пространственные трассы с оптимальной траекторией движения материала. За счет более высокого уровня заполнения корпуса материалом, производительность гибкого конвейера выше, чем у «жесткого» с аналогичным диаметром винта. Также к несомненным достоинствам транспортера с гибкой спиралью можно отнести, низкое энергопотребление, герметичность, возможность подачи материала по наклонам и поворотам трассы без образования переуплотненных участков - пробок. Гибкий корпус повышает «технологическую мобильность» шнека, делая его практически безальтернативным вариантом транспортирования сыпучих материалов в условиях плотной компоновки технологического оборудования [15].

### **1.3 Анализ научных работ по исследованию шнековых конвейеров.**

В существенном многообразии представлены конструкции винтовых конвейеров и приспособлений, защищенные авторскими свидетельствами Украины и зарубежных стран, направленные на модернизацию и коррекцию прототипов. Основные модернизации заключаются в следующем:

- изменение геометрии загрузочных и разгрузочных отверстий [16];
- комбинированное использование дополнительного гидравлического и пневматического транспорта [17];
- изменение диаметра шнека (бесступенчатое) [18];
- использование дополнительных камер (аэрация) [19];

- изменение габаритов конвейера путем соединения шнеков через промежуточные подшипниковые опоры [20];
- использование параллельно расположенных шнеков [21];
- изменение шага навивки и диаметра шнека [22, 23];
- объединение загрузочных и разгрузочных магистралей [24];
- комбинированное изменение шага и диаметра шнека [25];
- использование гибкой спирали комбинированного профиля [26, 27];
- использование каскадной системы взаимно перпендикулярных и проворачиваемых патрубков [28];
- использование дополнительной навивки на корпусе желоба [29, 30];
- использование бесстержневого спирального винта [31, 32];
- вынос приводных элементов за пределы корпуса [33];
- использование гибких материалов шнека и желоба [34, 35].

Все вышеуказанные конструкции шнековых конвейеров и устройств (дозаторов и смесителей) всем своим назначением направлены главным образом на повышение производительности путем упрощения конструкции, изменения технологии изготовления, введением вспомогательных элементов и механизмов, видоизменением кинематики и геометрии и т.д. Однако, ни в одной из конструкций не рассматривается и не затрагивается вопрос о повышении производительности путем установления и закрепления на самом теле пера шнека лопастей (табл. 1.3).

В работах, посвященных изучению влияния угла самого шнека [36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43], особое внимание уделяется вопросу неравномерности распределения транспортируемого материала в желобе конвейера [44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65], а именно концентрацию стружки на одной стороне ручья от циркуляционного состояния до обрушения (рис. 1.3).

**Анализ существующих шнековых конвейеров для транспортирования  
металлической стружки.**

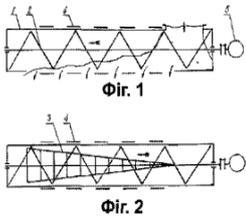
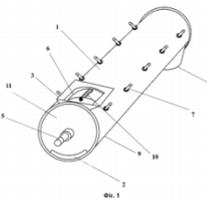
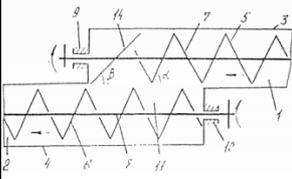
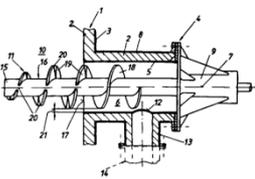
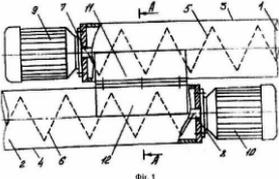
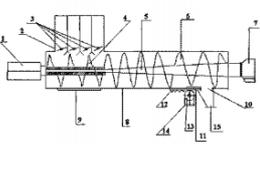
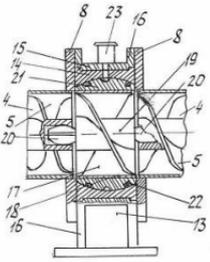
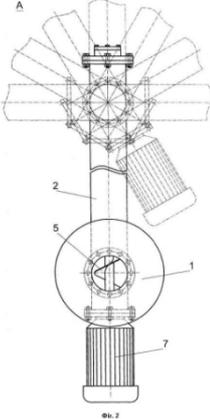
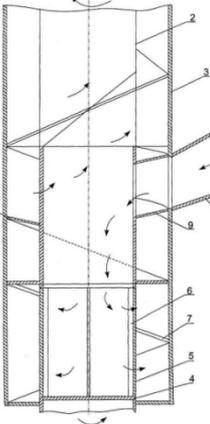
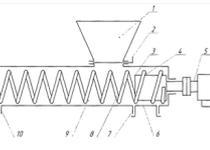
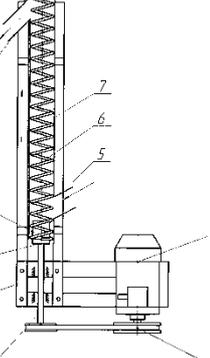
№ п/п	Наименование	Схема конвейера	Достоинства	Недостатки
1	Шнековое приспособление		Контролируется транспортируемый объем	Увеличенные энергетические затраты $P=0,48$ Вт/г
2	Транспортер шнековый		Отсутствие залеживания стружки в желобе	Увеличенные энергетические затраты $P=0,62$ Вт/г
3	Винтовой конвейер		Снижение энергетических потерь	Низкая производ-сть $Q=350$ г/мин
4	Винтовой транспортер		Препятствует слипанию материала	Дополнительные энергетические потери $P=0,32$ Вт/г
5	Винтовой конвейер		Упрощение конструкции, долговечность и надежность	Производ-сть не контролируется, увеличение энергоемкости $P=0,52$ Вт/г
6	Винтовой дозатор-смеситель		Точность дозирования транспортируемого материала	Низкая производ-сть $Q=320$ г/мин

Таблица 1.3. (Продолжение)

7	Шнековый конвейер линейной или замкнутой конфигурации		Безаварийная и надежная работа	Производ-сть не контролируется, увеличение энергоемкости $P=0,6$ Вт/г
8	Винтовой конвейер		Возможность транспортирования материала в разных плоскостях	Сложная конструкция, существенные энергетические затраты $P=0,92$ Вт/г
9	Винтовой конвейер		Дополнительные направляющие в желобе	Сложная конструкция, ненадежный встречный винт, увеличение энергоемкости $P=0,24$ Вт/г
10	Спирально-винтовой конвейер		Облегчение конструкции	Низкая производ-сть $Q=280$ г/мин
11	Спирально-винтовой транспортер		Упрощение конструкции	Низкая производ-сть $Q=350$ г/мин и высокая энергоемкость $P=0,24$ Вт/г

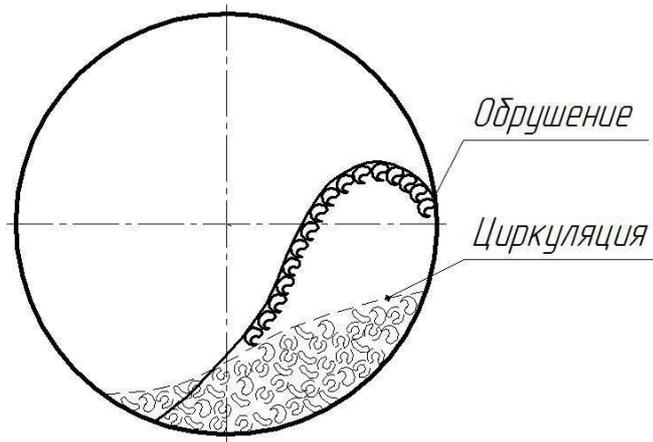


Рис. 1.3. Распределение материала в желобе шнекового конвейера.

В зарубежных и отечественных научных трудах, посвященных данной тематике, уделяется достойное внимание, ввиду существенной актуальности применения винтовых конвейеров в промышленности [66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85], поскольку их конструкция существенно проще в сравнении со скребковыми конвейерами, занимающими значительные позиции в процессе транспортирования стружки [86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106]. В большинстве случаев вопрос повышение производительности конвейера решается через движение материала внутри желоба конвейера, которое рассматривают, как движение материальной точки вдоль оси конвейера по винтовой поверхности спирали шнека [107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114]. Тем не менее, данные теории не описывают сложное движение материальной точки по поверхности шнека в направлении движения при вращении винта.

Значительное внимание в вопросе повышения производительности винтового конвейера уделяется углу наклона спирали шнека, исследование механизма взаимодействия транспортируемого материала со спиралью шнека, установление оптимальных значений угла подъема спирали, исследование влияния угла наклона спирали относительно сердечника шнека на его транспортирующие качества, обоснование рационального диапазона этого угла [115, 116, 117]; установление ребер на внутренней поверхности

желоба, исследование механизма взаимодействия транспортирующего материала с оребренным кожухом, влияния угла установки ребер кожуха на транспортирующие качества шнекового конвейера, обоснование оптимального значения и вывод теоретической зависимости для определения этого угла [118]; вариации критической частоты вращения шнека [119, 120]; изменению и характеристике кинематики движения во вращающемся и неподвижном кожухах [121, 122, 123].

Из проведенного анализа литературных источников установлено, что многообразие конструкций шнековых транспортирующих механизмов, а также их основных геометрических и конструктивных параметров, обусловлено физико-механическими свойствами транспортируемых материалов, и может быть описано различными математическими зависимостями. Однако, практически отсутствуют публикации по изучению влияния конструкции шнека с установленными и закрепленными лопастями на самом теле пера шнека горизонтального шнекового конвейера на процесс транспортирования материала. Основными недостатками шнековых конвейеров являются сравнительно низкая производительность. В первую очередь эти недостатки относятся к горизонтальным шнековым конвейерам.

Согласно с проведенным анализом литературных и патентных источников относительно существующих способов и технологий повышения производительности внутрицехового конвейерного транспорта установлено, что:

1. Вопрос повышения производительности шнековых конвейеров описывается достаточно широко, однако ни в одном способе повышения производительности не дается конкретика по влиянию наполняемости желоба.

2. Основная масса способов повышения производительности базируется на методе варьирования мощностью привода, а не на конструктивных доработках и модернизациях основных элементов конвейера.

3. Существующие методики проектирования и расчета наклонных конвейеров направлены на изменения шага и угла наклона шнека, а не введению вспомогательных элементов конструкции.

#### **1.4 Цели и задания.**

Проведенный литературный обзор и анализ результатов исследований внутрицехового конвейерного транспорта позволил сформулировать рабочую гипотезу, цель и задачи диссертационных исследований.

Рабочая гипотеза: производительность шнекового конвейера зависит от движения транспортируемого материала по желобу, которая обуславливается конструкцией шнека и использованием дополнительных лопастей на самом теле пера шнека винтового конвейера, а также математическим моделированием кинематики движения транспортируемого материала по дополнительным лопастям.

Целью диссертационной работы является повышение производительности процессов транспортирования материала шнековым конвейером с помощью конструктивных модернизаций.

Достижение поставленной цели предусматривает решение следующих задач:

- анализ условий применения шнековых конвейеров в промышленных условиях, изучение их конструкций и требований, предъявляемых к шнековым конвейерам;
- изучение результатов ранее выполненных научных исследований шнековых конвейеров, определение направлений их дальнейшего развития;
- исследование механизма взаимодействия транспортируемого материала шнекового конвейера с установленными и закрепленными лопастями на самом теле пера шнека;

- исследование влияния угла установки лопастей на транспортирующие качества шнекового конвейера, обоснование рационального значения этого угла;
- разработка усовершенствованной конструкции шнекового конвейера.

Согласно специфике сформулированных задач при выполнении диссертационной работы методы исследований должны базироваться на системном подходе, который предусматривает выбор и учет влияния доминирующих факторов на исследуемые процессы. Экспериментальные исследования должны проводиться по стандартным методикам с использованием специально сконструированным опытным стендом. В расчетной части работы необходимо использовать математические методы обработки экспериментальных данных, методы математической статистики, методы прогнозирования и моделирования.

### **Выводы к разделу 1**

Применения шнекового конвейерного транспорта достаточно широко и рентабельно. Однако вопрос повышения производительности шнековых конвейеров имеет существенные недостатки:

1. Способы повышения производительности базируются в основном на энергетическом методе, а не на конструкционном, что влечет к существенным потерям природных ресурсов;
2. Способы повышения производительности, базирующиеся на конструкционном методе, не включают в учет степень наполнения желоба;
3. Способы повышения производительности, базирующиеся на конструкционном методе, не включают в расчет возможность введения дополнительных элементов, их количество и геометрию;

4. В технологии расчета и проектирования шнекового конвейерного транспорта отсутствует учет влияния движения частиц по желобу и шнеку, а также его конструктивным элементам;
5. Отсутствует методика описывающая движение транспортируемого материала по шнеку и его конструктивным элементам;
6. Отсутствуют принципиальные схемы действующих сил на транспортируемый материал.

## РАЗДЕЛ 2

**ОБОСНОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ  
НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ШНЕКОВОГО КОНВЕЙЕРА С  
УСТАНОВЛЕННЫМИ ЛОПАСТЯМИ НА ТЕЛЕ ПЕРА ШНЕКА**

**2.1 Теоретическое определение зависимости углов атаки и углов начала движения.**

Аналитические исследования процесса транспортирования металлической стружки шнековым конвейером базируются на условии равновесия при переходе от состояния покоя к движению. При вращении шнека на стружку, находящуюся на поверхности дополнительной лопасти, будут действовать гравитационные и центробежные силы. Составим уравнение равновесия исходя из схемы сил, действующих на металлическую стружку (рис. 2.1).

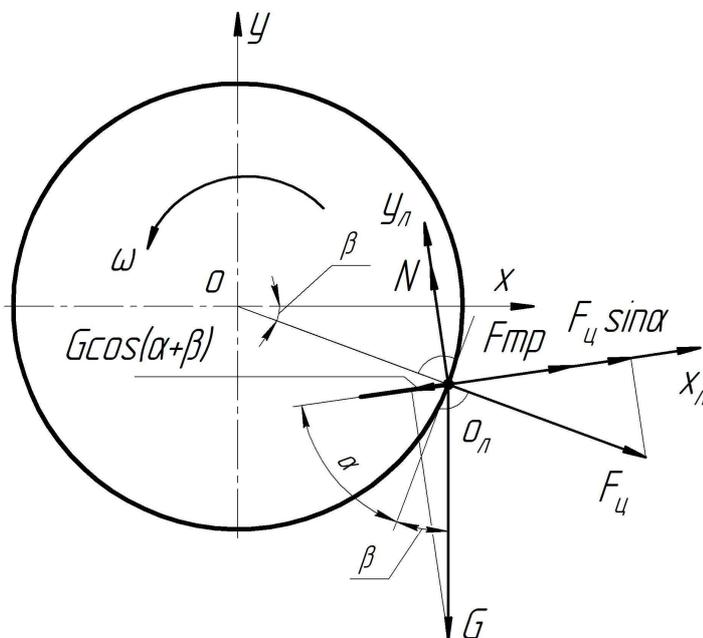


Рис. 2.1. Схема сил, действующих на частицу металлической стружки в фронтальной плоскости.

Из уравнения равнодействующих сил следует:

$$-F_{\text{тр}} + G \cos(\alpha + \beta) - F_{\text{ц}} \cdot \cos(90 - \alpha) = 0, \quad (2.1)$$

где  $F_{\text{тр}}$  – сила трения, Н;

$G$  – сила тяжести, Н;

$F_{\text{ц}}$  – центробежная сила, Н.

Сила трения определяется из соотношения

$$F_{\text{тр}} = N \cdot f_{\text{тр}},$$

здесь  $N$  – сила реакции опоры;

$f_{\text{тр}}$  – коэф. трения.

Сила тяжести определяется по уравнению

$$G = mg,$$

где  $m$  – масса частицы металлической стружки;

$g$  – ускорение свободного падения.

Центробежная сила определяется по формуле

$$F_{\text{ц}} = m\omega^2 R,$$

здесь  $m$  – масса частицы металлической стружки;

$\omega$  – угловая скорость;

$R$  – радиус шнека.

Численное значение угла  $\alpha$ , при котором частица металлической стружки начинает двигаться, зависит от ее положения на поверхности дополнительной лопасти, то есть от величины угла  $\beta$ .

Переход от состояния покоя в движение частицы металлической стружки характеризует устойчивое движение всей массы металлической стружки, находящейся на поверхности дополнительной лопасти. Из уравнения (2.1) угол  $\beta$ , при котором начинается это движение, будет определяться из соотношения:

$$G \cos(\alpha + \beta) = F_{\text{тр}} + F_{\text{ц}} \cdot \cos(90 - \alpha).$$

С учетом соответствующих подстановок:

$$mg(\cos(\alpha + \beta)) = N \cdot f_{\text{тр}} + m\omega^2 R \cos(90 - \alpha);$$

$$mg(\cos(\alpha + \beta)) = N \cdot f_{\text{тр}} + m\omega^2 R \sin\alpha;$$

$$mg(\cos(\alpha + \beta)) - m\omega^2 R \sin\alpha = N f_{\text{тр}};$$

$$g(\cos(\alpha + \beta)) - \omega^2 R \sin\alpha = \frac{N f_{\text{тр}}}{m};$$

$$g(\cos(\alpha + \beta)) = \frac{N f_{\text{тр}}}{m} + \omega^2 R \sin\alpha.$$

Раскрывая тригонометрическую функцию  $\cos(\alpha + \beta)$ , получаем:

$$g(\cos\alpha\cos\beta - \sin\alpha\sin\beta) = \frac{N f_{\text{тр}}}{m} + \omega^2 R \sin\alpha.$$

После переноса переменных получаем следующее соотношение:

$$\cos \alpha \cos \beta - \sin \alpha \sin \beta = \frac{N f_{\text{тр}}}{mg} + \frac{\omega^2 R \sin \alpha}{g}.$$

Выполняем временную замену для упрощения вида уравнения:

$$\cos \alpha \cos \beta - \sin \alpha \sin \beta = z,$$

$$\text{где } z = \frac{N f_{\text{тр}}}{mg} + \frac{\omega^2 R \sin \alpha}{g}.$$

$$\text{Выражаем } \cos \beta = \sqrt{1 - \sin^2 \beta}.$$

Тогда:

$$\cos \alpha \sqrt{1 - \sin^2 \beta} = z + \sin \alpha \sin \beta.$$

Выполняем следующие преобразования:

$$(1 - \sin^2 \beta) \cos^2 \alpha = z^2 + 2z \sin \alpha \sin \beta + \sin^2 \alpha \sin^2 \beta;$$

$$(1 - \sin^2 \beta)(1 - \sin^2 \alpha) = z^2 + 2z \sin \alpha \sin \beta + \sin^2 \alpha \sin^2 \beta;$$

$$1 - \sin^2 \beta \sin^2 \alpha + \sin^2 \alpha \sin^2 \beta = z^2 + 2z \sin \alpha \sin \beta + \sin^2 \alpha \sin^2 \beta;$$

$$\sin \beta (1 + \sin^2 \alpha) + 2z \sin \alpha \sin \beta + \sin^2 \alpha \sin^2 \beta + z^2 - 1 = 0.$$

Решаем квадратное уравнение вида:

$$ax^2 + bx + c = 0,$$

где коэффициенты уравнения выражаются следующим образом:

$$a = (1 + \sin^2 \alpha); \quad b = z \sin \alpha; \quad c = z^2 - 1.$$

Подставляя значения коэффициентов  $a, b$  и  $c$ , определяем корни уравнения:

$$\begin{aligned}
x = \sin\beta &= \frac{-b\sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} = \frac{-z \sin\alpha \pm \sqrt{z^2 \sin^2\alpha - 4(1 + \sin^2\alpha)(z^2 - 1)}}{z(1 + \sin^2\alpha)} = \\
&= \frac{-z \sin\alpha \pm \sqrt{z^2 \sin^2\alpha - 4(z^2 - 1 + z^2 \sin^2\alpha - \sin^2\alpha)}}{z(1 + \sin^2\alpha)} = \\
&= \frac{-z \sin\alpha \pm \sqrt{z^2 \sin^2\alpha - 4z^2 - 4 + 4z^2 \sin^2\alpha - 4 \sin^2\alpha}}{2(1 + \sin^2\alpha)} = \\
&= \frac{-z \sin\alpha \pm \sqrt{z^2 \sin^2\alpha - 3z^2 \sin^2\alpha - 4z^2 + 4}}{2(1 + \sin^2\alpha)} = \\
&= \frac{-\sin\alpha \left( \frac{N f_{\text{TP}}}{mg} + \frac{\omega^2 R \sin\alpha}{g} \right)}{2(1 + \sin^2\alpha)} \pm \\
&\pm \sqrt{\frac{4(\sin^2\alpha + 1) - (3\sin^2\alpha + 4) \left( \frac{N f_{\text{TP}}}{mg} + \frac{\omega^2 R \sin\alpha}{g} \right)^2}{2(1 + \sin^2\alpha)}}.
\end{aligned}$$

Математическая модель для определения угла  $\beta$  будет иметь следующий вид:

$$\beta = \arcsin \frac{-\sin\alpha \left( \frac{N f_{\text{TP}}}{mg} + \frac{\omega^2 R \sin\alpha}{g} \right) \pm \sqrt{4(\sin^2\alpha + 1) - (3\sin^2\alpha + 4) \left( \frac{N f_{\text{TP}}}{mg} + \frac{\omega^2 R \sin\alpha}{g} \right)^2}}{2(1 + \sin^2\alpha)}. \quad (2.2)$$

Из уравнения (2.2) следует зависимость величины угла  $\beta$  от угла атаки  $\alpha$ , которая может быть описана графической вариацией расположения угла  $\beta$ , при достижении которого частица металлической стружки начинает движение с учетом всех действующих на нее сил, а также с учетом угла атаки дополнительных лопастей  $\alpha$  (рис. 2.2).

Определение величин угла  $\beta$  дает возможность решить уравнение (2.1), которое является не только равнодействующим сил, но и описывает уравнение движущей силы, действующей на транспортируемую металлическую стружку.

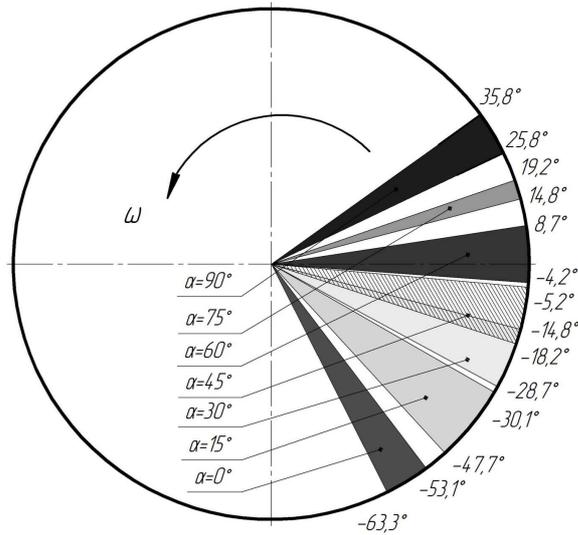


Рис. 2.2. Вариации зависимости расположения угла  $\beta$  от угла атаки  $\alpha$ .

## 2.2 Определение влияния углов атаки и начала движения на величину подъемно-движущей силы

Влияние угла атаки и количества дополнительных лопастей на транспортировочную способность шнекового конвейера можно рассматривать как изменение величины движущей силы транспортируемого материала.

Физическая сущность процесса перемещения частицы металлической стружки по спирали вдоль оси шнека (спирали) описывает взаимосвязь угла подъема спирали и силы сопротивления движению частицы металлической стружки.

Из схемы сил (рис. 2.3) следует, что сила трения частицы металлической стружки о кожух  $F_{тр.к.}$  является силой, которая способствует перемещению частицы материала по спирали. Силой, препятствующей перемещению частицы металлической стружки, является сила трения о шнек  $F_{тр.ш.}$ , а также  $G \cdot \sin \Omega$  - составляющая силы веса частицы металлической стружки.

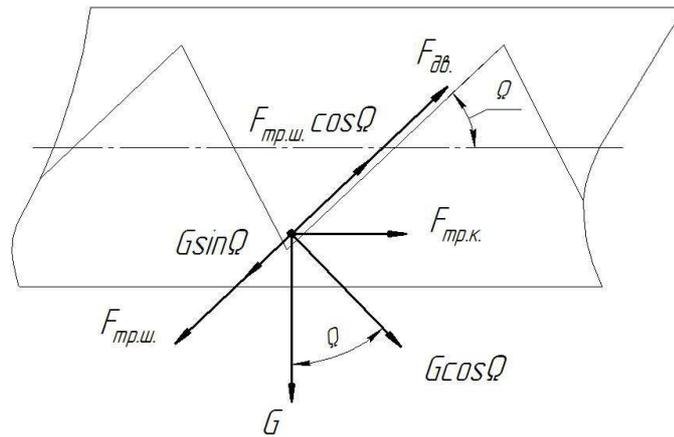


Рис. 2.3. Схема сил, действующих на частицу металлической стружки вдоль оси шнека (спирали).

Сила, поднимающая и движущая частицу материала по спирали, может быть выражена как разность между первой силой и суммой двух других:

$$F_{об} = m \cdot \left[ \omega_{ш}^2 \cdot R \cdot \cos \Omega \cdot f_k - g (\sin \Omega + \cos \Omega \cdot f_{ш}) \right], \quad (2.3)$$

где  $m$  – масса частицы металлической стружки;

$\omega_{ш}$  – угловая скорость шнека;

$R$  – радиус шнека;

$\Omega$  – угол подъема спирали шнека;

$f_k$  – коэффициент трения материала о кожух;

$g$  – ускорение свободного падения;

$f_{ш}$  – коэффициент трения материала о шнек.

Установленные дополнительные лопасти на самом шнеке позволяют рассматривать силы, действующие на частицу металлической стружки, во фронтальной плоскости (рис. 2.1) в совокупности с силами, действующими на частицу металлической стружки в горизонтальной плоскости (рис. 2.3). Силы, действующие на частицу металлической стружки во фронтальной плоскости, обусловлены углом атаки дополнительной лопасти -  $\alpha$  и углом,

под которым размещенная частица металлической стружки на дополнительной лопасти начинает движение –  $\beta$ .

Объединив уравнения (2.1) и (2.3), получаем расчетную формулу подъемно-движущей силы для шнекового конвейера с дополнительными лопастями:

$$\begin{aligned}
 F_{дв} &= m \cdot [\omega^2 R \cos \Omega f_k - g(\sin \Omega + \cos \Omega f_w)] - \\
 &- F_{тр} + G \cos(\alpha + \beta) - F_{ц} \cdot \cos(90 - \alpha) = \\
 &= m \cdot [\omega^2 R \cos \Omega f_k - g(\sin \Omega + \cos \Omega f_w)] - N f_{тр} + \\
 &+ m \omega^2 R \cos(90 - \alpha) + mg \cos(\alpha + \beta) = \\
 &= m \cdot [\omega^2 R \cos \Omega f_k - g(\sin \Omega + \cos \Omega f_w)] + \\
 &+ g \cos(\alpha + \beta) - \omega^2 R \cos(90 - \alpha) - N f_{тр} = \\
 &= m \cdot [\omega^2 R \cos \Omega f_k - g(\sin \Omega + \cos \Omega f_w - \cos(\alpha + \beta)) - \omega^2 R \cos(90 - \alpha)] - N f_{тр} = \\
 &= m \cdot [\omega^2 R (\cos \Omega f_k - \cos(90 - \alpha)) - g(\sin \Omega + \cos \Omega f_w - \cos(\alpha + \beta))] - N f_{тр}.
 \end{aligned}$$

С учетом сил, действующих на частицу в горизонтальной и фронтальной плоскостях, итоговая формула для определения подъемно-движущей силы имеет вид:

$$F_{дв} = -N f_{мп} + m \cdot [\omega^2 R (\cos \Omega f_k - \cos(90 - \alpha)) - g(\sin \Omega + \cos \Omega f_w - \cos(\alpha + \beta))], \quad (2.4)$$

где  $f_{мп}$  - коэффициент трения материала о дополнительную лопасть.

Анализ уравнений (2.3) и (2.4) показывает, что для уменьшения подъемно-движущей силы для транспортирования металлической стружки шнековым конвейером с дополнительными лопастями по сравнению с ранее

известным классическим строением шнекового конвейера (рис. 2.4) значимое влияние оказывают угол атаки дополнительной лопасти –  $\alpha$  и угол начала движения частицы на дополнительной лопасти –  $\beta$ .

Анализ изменения интенсивности подъемно-движущей силы в зависимости от угла наклона спирали шнека по сравнению с классическим шнековым конвейером с дополнительными лопастями показал, что интенсивность подъемно-движущей силы пропорциональна углу наклона спирали шнека.

На основе анализа уравнения (2.4) получаем зависимость подъемно-движущей силы от угла атаки дополнительных лопастей шнекового конвейера, отображенную на графике зависимости движущей силы от угла атаки лопастей (рис. 2.5).

Из рис. 2.5 видно, что эффективным диапазоном угла атаки лопастей, при котором значение подъемно-движущей силы наименьшее, находится в пределах от  $30^\circ$  до  $60^\circ$  с прогнозируемым пиковым значением, приближенным к  $45^\circ$ .

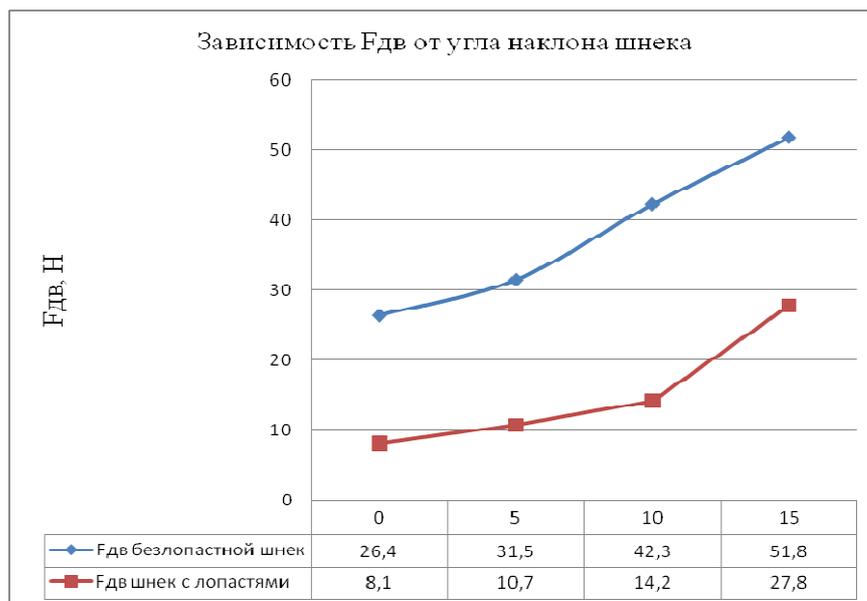


Рис. 2.4. Зависимость подъемно-движущей силы от угла наклона шнека.

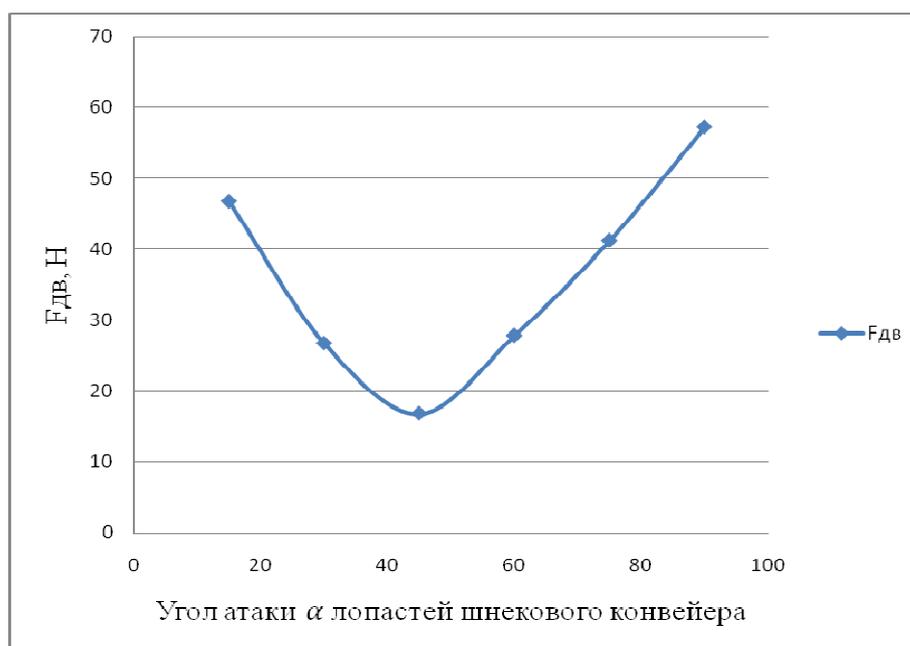


Рис. 2.5. Зависимость подъемно-движущей силы от угла атаки лопастей.

### 2.3 Определение критической частоты вращения шнека

При вращении горизонтального шнекового конвейера, частично заполненного сыпучим материалом (металлической стружкой), в его поперечном сечении можно наблюдать следующие режимы движения материала [44, 45, 46]:

- движение с обрушением, при котором периодически происходит перераспределение материала;

- циркуляционное движение, при котором материал образует замкнутый циркуляционный контур (рис. 2.6). При этом часть материала движется либо по открытой поверхности искривленного сегмента, либо находится в полете.

- Движение с обрушением наблюдается довольно редко. На практике наиболее часто используется циркуляционное движение. Поэтому рассмотрим более подробно именно этот режим.

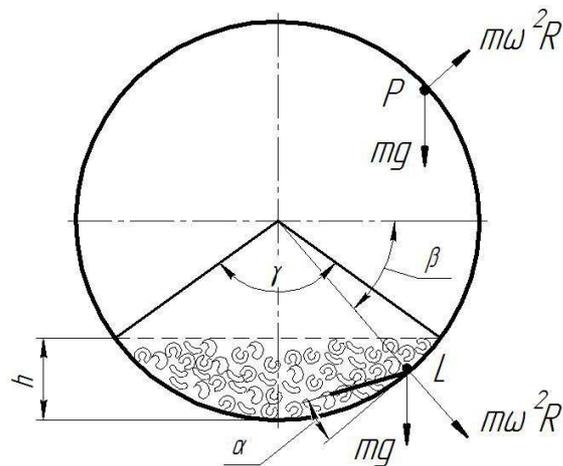


Рис. 2.6. Схемы движения частицы металлической стружки в поперечном сечении желоба шнекового конвейера с дополнительными лопастями

Обычно данный режим движения устойчиво существует при угловых скоростях вращения шнека  $(0,1...0,6) \omega_{кр}$ .  $\omega_{кр}$  – критическая угловая скорость, при которой металлическая стружка начинает вращаться вместе с дополнительной лопастью.

Для определения численного значения  $\omega_{кр}$  рассмотрим условия равновесия отдельной частицы в поперечном сечении шнекового конвейера в точках  $L$  и  $P$  (рис. 2.6):

– для точки  $L$  (находится в завале)

$$mg - f_{тр} m \omega_{кр}^2 R = 0 \Rightarrow \omega_{кр} = \sqrt{\frac{g}{f_{тр} R}}; \quad (2.5)$$

– для точки  $P$  (находится вне завала)

$$mg - m \omega_{кр}^2 R = 0 \Rightarrow \omega_{кр} = \sqrt{\frac{g}{R}}, \quad (2.6)$$

где  $m$  – масса частицы;

$g$  – ускорение свободного падения;

$f_{тр}$  – коэффициент трения частицы о внутреннюю поверхность желоба;

$R$  – расстояние от оси вращения шнека до центра тяжести частицы диаметром  $d$  (величину  $R$  принимают равным радиусу шнека).

Если степень заполнения желоба материалом равна  $h$ , то угловая скорость вращения шнека определяется по следующим формулам:

$$\omega_{кр} = \sqrt{\frac{g}{R f_{тр.м} (1-h)^{0,5}}}; \quad (2.7)$$

$$\omega_{кр} = \sqrt{\frac{g}{R (1-h)^{0,5}}}; \quad (2.8)$$

где  $f_{тр.м}$  – коэффициент внутреннего трения материала.

Степень заполнения желоба материалом можно определить через дугу сектора сечения желоба (рис. 2.7).

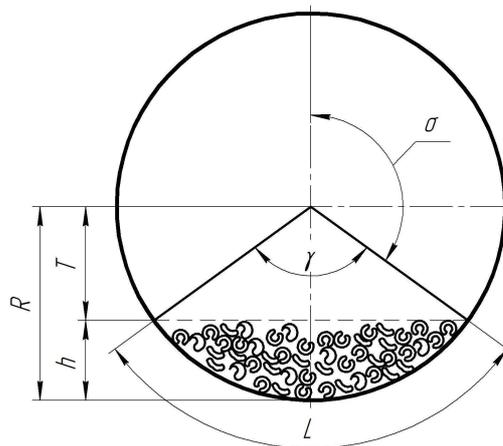


Рис. 2.7. Фронтальное сечения желоба шнекового конвейера.

По сечению желоба (рис. 2.7) угол сектора наполняемости желоба можно выразить через дугу и радиус:

$$R = \frac{L^2 - 4(R - T)^2}{8 - (R - T)} = \frac{L^2 - 4h^2}{8h}, \quad (2.9)$$

где  $L$  – дуга сектора желоба;

$R$  – радиус шнека;

$h$  – уровень наполняемости желоба;

$T$  – разница радиуса шнека и наполняемости желоба.

Преобразовываем уравнения для выражения дуги сектора:

$$L^2 - 4h^2 = R8h;$$

$$L^2 = R8h + 4h^2;$$

$$L = \sqrt{R8h + 4h^2}.$$

Также:

$$L = \gamma R,$$

где  $\gamma$  – угол сектора.

Следовательно:

$$\gamma R = \sqrt{R8h + 4h^2}.$$

Откуда:

$$\gamma = \frac{\sqrt{R8h + 4h^2}}{R} \quad (2.10)$$

Для определения эффективного наполнения желоба, зависящего от угла атаки лопастей, необходимо определить величины угла  $\beta$ , и угла, характеризующего наполняемость желоба конвейера  $\gamma$ . Отделенная от завала элементарная частица должна возвратится обратно в ручей желоба. Расстояние, преодолеваемое элементарной частицей, можно охарактеризовать углом  $\delta$ , определяемого из сечения желоба с учетом наполняемости (рис. 2.8):

$$\delta = 90^\circ - \frac{\gamma}{2} - \beta. \quad (2.11)$$

Рассматривая кратчайший путь, как перпендикуляр от точки элементарной частицы на лопасти до угла, характеризующего наполняемость желоба, получаем прямоугольный треугольник, из которого следует, что

рабочий угол с учетом траекторий падений отдельных частиц можно записать:

$$\sigma \leq 180 - \frac{\gamma}{2}. \quad (2.12)$$

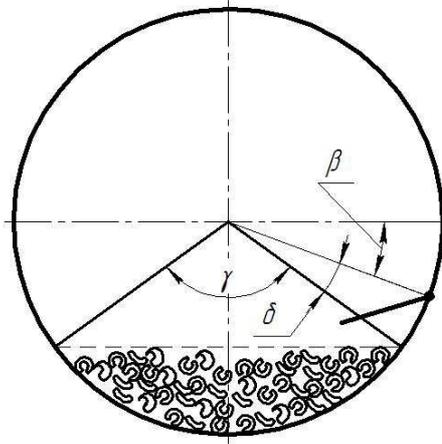


Рис. 2.8. Сечение желоба шнекового конвейера с учетом наполняемости.

Очевидно, что с теоретической точки зрения численное значение критической скорости вращения будет равно большему из значений, полученных по приведенным выше формулам. Исходя из значений коэффициентов внутреннего трения материала, которые не превышают единицу, целесообразнее следует применить формулу:

$$\omega_{кр} = \sqrt{\frac{g}{R(1-h)^{0,5}}},$$

На практике используют более простую формулу, поскольку степень заполнения желоба  $h$  в основном не превышает 30%. Следовательно, значение в скобках будет стремиться к единице:

$$\omega_{кр} = \sqrt{\frac{g}{R}}.$$

Очевидно, что для составления уравнения определения критической скорости вращения необходимо представить уравнение поверхности площадки дополнительной лопасти. По рис. 2.1 уравнение можно записать в общем виде:

$$\cos \alpha_x (x - x_0) + \cos \alpha_y (y - y_0) + \cos \alpha_z (z - z_0) = 0. \quad (2.13)$$

Если известна точка, с координатами  $(x_0, y_0, z_0)$  через которую проходит поверхность, то уравнение получит вид

$$x \cos \alpha_x + y \cos \alpha_y + z \cos \alpha_z - l = 0,$$

где  $l$  - расстояние до поверхности,  $\alpha_x, \alpha_y, \alpha_z$  - углы между нормалью и соответствующими осями. По рис. 2.1 для начального размещения точки на лопасти уравнение приобретет вид:

$$(x - R) \cos \alpha + y \sin \alpha = 0,$$

тогда для нормального витка получаем уравнение:

$$x \cos \alpha + y \sin \alpha - R \cos \alpha = 0,$$

где  $R \cos \alpha = l$ .

Тогда уравнение плоскости площадки дополнительной лопасти с учетом угла начала движения материала выражаем:

$$x \cos(\alpha + \beta) + y \sin(\alpha + \beta) - R \cos \alpha = 0. \quad (2.14)$$

Однако, угол  $\beta$  - угол начала движение материала по дополнительной лопасти и также угол наклона площадки к плоскости витка, следовательно площадка дополнительной лопасти имеет пространственное перемещение. Уравнение (2.1) описывает равнодействие сил по оси совпадающей с проекцией площадки дополнительной лопасти. Составим уравнение сил на перпендикулярную ось плоскости:

$$N - G \sin(\alpha + \beta) + F_y \sin(90 - \alpha) = 0. \quad (2.15)$$

Объединяя полученное уравнение (2.15) с уравнением (2.1) получаем:

$$\omega_{кр}^2 R (\sin \alpha + f_{тр} \cos \alpha) = g [\cos(\alpha + \beta) + f_{тр} \sin(\alpha + \beta)].$$

Откуда:

$$\omega_{кр} = \sqrt{\frac{g \cdot \frac{\cos(\alpha + \beta) + f_{тр} \sin(\alpha + \beta)}{\sin \alpha + f_{тр} \cos \alpha}}{R}} = \sqrt{\frac{g \cdot \frac{\cos(\alpha + \beta - \varphi)}{\sin(\alpha + \varphi)}}{R}}, \quad (2.16)$$

где  $\varphi = \arctg f_{тр}$  - угол трения.



Следовательно, в полярной системе координат  $Op\Delta z$  уравнение поверхности лопасти опишется зависимостью:

$$p = \frac{R \cos \alpha}{\sin(\alpha + \Delta)}; p = \frac{R \sin \alpha'}{\cos(\alpha - \Delta)}; p = \frac{R \cos \alpha}{\cos(90^\circ - \alpha - \Delta)} = \frac{R \cos \alpha}{\sin(\alpha + \Delta)}. \quad (2.18)$$

Винтовая поверхность спирали шнека, как известно, в параметрической форме опишется зависимостями:

$$x = p \cos \Delta; y = p \sin \Delta; z = \frac{T}{2\pi} \Delta,$$

где  $T$  – шаг шнека,  $p$  и  $\Delta$  – радиальный и угловой параметры системы  $Op\Delta z$ .

Соответственно, после подстановки параметра  $\Delta$  получаем уравнение линии пересечения винтовой поверхности и поверхности площадки:

$$x = \frac{R \sin \alpha' \cos \Delta}{\cos(\alpha' - \Delta)}; y = \frac{R \sin \alpha' \sin \Delta}{\cos(\alpha' - \Delta)}; z = \frac{T\Delta}{2\pi}. \quad (2.19)$$

При вращении шнека, крайняя частичка стружки, отрываясь от поверхности желоба при размещении лопасти с угловым параметром  $\beta_0$ , перемещается по ней под действием силы тяжести  $\bar{G}$ , кориолисовой силы  $\bar{F}_k$ , центробежной силы  $\bar{F}_c$ , реакции поверхности  $\bar{N}$  и приведенной силы трения  $\bar{F}_{тр.пр}$ , учитывающей влияние винтовой поверхности.

Уравнение движения:

$$m\bar{w}_л = \bar{N} + \bar{F}_{тр.пр} + \bar{F}_k + \bar{F}_c + \bar{G}, \quad (2.20)$$

где  $\bar{w}_л$  – ускорение частички в системе координат лопасти при бегущем перемещении  $u$  по лопасти от желоба ( $u=0$ ) к внутреннему краю лопасти  $u=1$ .

Координаты движения:

$$\begin{aligned} X &= R \cos(\omega t - \beta_0) - u \sin(\omega t - \alpha - \beta_0), \\ X &= R \sin(\omega t - \beta_0) - u \cos(\omega t - \alpha - \beta_0); \end{aligned} \quad (2.21)$$

При переходе от системы координат вращательной лопасти  $x_л 0_л y_л$  к неподвижной системе координат  $XOY$  дифференциальное уравнение движения (2.20) примет вид:

$$\alpha_y(m\ddot{x} - G_x) = \alpha_x(m\ddot{y} - G_y), \quad (2.22)$$

где  $\alpha_y$  и  $\alpha_x$  – направляющие косинусы равнодействующей  $\bar{R} = \bar{N} + \overline{F_{\text{тр.пр}}}$  в системе координат XOY;  $G_x$  и  $G_y$  – проекции силы тяжести  $G=mg$  на координате  $O_x$  и  $O_y$ ;  $\ddot{x}$  и  $\ddot{y}$  – составляющие ускорения частички груза, что движется по лопасти в неподвижной системе координат. Согласно рис 2.9  $G_x=0$ ,  $G_y=-mg$ .

Вектор силы  $\bar{N}$  направленный перпендикулярно поверхности лопасти, описываемой зависимостью угла начала движения материала, выражается:

$$\bar{N} = [-\sin(\omega t - \alpha - \beta_0)\bar{i} + \cos(\omega t - \alpha - \beta_0)\bar{j}]. \quad (2.23)$$

Вектор приведенной силы трения  $\overline{F_{\text{тр.пр}}}$  направленной по оси  $O_x X_L$ :

$$\overline{F_{\text{тр.пр}}} = [\cos(\omega t - \alpha - \beta_0)\bar{i} + \sin(\omega t - \alpha - \beta_0)\bar{j}]fN. \quad (2.24)$$

Соответственно:

$$\alpha_y = -\sin(\omega t - \alpha - \beta_0)\bar{i} + \mu \cos(\omega t - \alpha - \beta_0); \quad (2.25)$$

$$\alpha_x = \cos(\omega t - \alpha - \beta_0)\bar{i} + \mu \sin(\omega t - \alpha - \beta_0); \quad (2.26)$$

Скорости  $\dot{x}$  и  $\dot{y}$ , а также ускорения  $\ddot{x}$  и  $\ddot{y}$ , выражаем через параметр  $u$  путем дифференцирования уравнения (2.21)

$$\dot{x} = uw \cos(\omega t - \alpha - \beta_0)\bar{i} + \dot{u} \sin(\omega t - \alpha - \beta_0) - R w \cos(\omega t - \beta_0); \quad (2.27)$$

$$\dot{y} = u w \sin(\omega t - \alpha - \beta_0)\bar{i} + \dot{u} \cos(\omega t - \alpha - \beta_0) + R w \cos(\omega t - \beta_0); \quad (2.28)$$

$$\begin{aligned} \ddot{x} = & uw^2 \sin(\omega t - \alpha - \beta_0)\bar{i} - 2\dot{u} \cos(\omega t - \alpha - \beta_0) - \ddot{u} \sin(\omega t - \beta_0) - \\ & - R w^2 \cos(\omega t - \beta_0); \end{aligned} \quad (2.29)$$

$$\begin{aligned} \ddot{y} = & uw^2 \cos(\omega t - \alpha - \beta_0)\bar{i} - 2\dot{u} \sin(\omega t - \alpha - \beta_0) - \ddot{u} \cos(\omega t - \beta_0) - \\ & - R w^2 \sin(\omega t - \beta_0); \end{aligned} \quad (2.30)$$

Подставляя значения (2.24), (2.25) и (2.27)...(2.30) в уравнение (2.22) получаем уравнения движения частички независимого параметра  $u$  – перемещение ее от кожуха к лопасти.

$$\ddot{u} - 2f_{\text{тр.пр}} \omega \dot{u} - \omega^2 [u + R \sin(\alpha + \varphi_{\text{тр.пр}})] = \frac{g \cos(\omega t - \alpha - \beta_0 + \varphi_{\text{тр.пр}})}{\cos \varphi_{\text{тр.пр}}}. \quad (2.31)$$

Характеристики уравнение дифференциального уравнения (2.31)

$$\lambda^2 - 2f_{\text{тр.пр}} \omega u \lambda - \omega^2 [u + R \sin(\alpha + \varphi_{\text{тр.пр}})] = 0. \quad (2.32)$$

Оно имеет корни  $\lambda_{1,2} = f_{\text{тр.пр}} \omega (1 \pm \sqrt{1 + 1/f_{\text{тр.пр}}^2})$

Краевые условия для общего решения, при  $t = 0$  такие:  $\dot{u} = 0$ ,  $u = 0$ , соответственно  $v = u + R \sin(\alpha + \varphi_{\text{тр.пр}}) = R \sin(\alpha + \varphi_{\text{тр.пр}})$ .

Решение уравнения (2.32), что состоит из общего и частного решения, дает закон движения элемента стружки по лопате

$$u = \left[ \left( 1 - \frac{f_{\text{тр.пр}}}{\sqrt{1 + f_{\text{тр.пр}}^2}} \right) e^{\left( \frac{f_{\text{тр.пр}}}{\sqrt{1 + f_{\text{тр.пр}}^2} + 1} \right) \omega t} + \left( 1 + \frac{f_{\text{тр.пр}}}{\sqrt{1 + f_{\text{тр.пр}}^2}} \right) e^{\left( \frac{f_{\text{тр.пр}}}{\sqrt{1 + f_{\text{тр.пр}}^2} - 1} \right) \omega t} \right] \times \\ \times R \sin(\alpha + \varphi_{\text{тр.пр}}) + \frac{g \cos(\omega t - \alpha - \beta_0 - \varphi_{\text{тр.пр}})}{2(1 + f_{\text{тр.пр}}^2) \omega^2} - R \sin(\alpha + \varphi_{\text{тр.пр}}) \quad (2.33)$$

Анализ зависимости (2.33) показал, что движение частицы можно представить упрощенной зависимостью

$$u = \frac{gt^2}{2} [k_u \cos(\alpha + \beta_0) - f_{\text{тр.пр}}], \quad (2.34)$$

Известная ранее формула для определения угловой скорости имеет вид:

$$\omega_{\text{кр}} = \frac{\pi \cdot n}{30}. \quad (2.35)$$

Приравняв уравнения (2.16) и (2.35), а также беря в учет коэффициенты трения, угол атаки дополнительной лопасти и угол расположения дополнительной лопасти, при котором начинается движения металлической стружки, получаем уравнение критической частоты вращения шнека с установленными дополнительными лопастями:

$$n_{\text{кр}} \geq \frac{30}{\pi} \cdot \cos(\Omega) \sqrt{\frac{g \cdot [f_{\text{тр.л}} \cdot \cos(\alpha + \beta) \cdot f_u - f_{\text{тр.м}} \cdot \sin(\delta)]}{R \cdot [f_u \cdot \cos(\beta) + f_{\text{жс}} \cdot \sin(\gamma)]}}, \quad (2.36)$$

где  $f_u$  – коэффициент трения о шнек;

$f_{\text{жс}}$  – коэффициент трения о желоб;

$f_{тр.л}$  – коэффициент трения материала о лопасть;

$f_{тр.м}$  – коэффициент внутреннего трения материала.

Ниже приведено одно из выражений для ее расчета применительно к шнековому конвейеру типовой конструкции:

$$n_{кр} \geq \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{g(\sin \Omega + f_{ш} \cdot \cos \Omega)}{R \cdot f_{к}(\cos \Omega - f_{ш} \cdot \sin \Omega)}} \quad (2.37)$$

Проведенный количественный анализ сопоставляемых уравнений критической частоты вращения шнека (2.36) и (2.37) целесообразнее и нагляднее выразить графическим способом (рис. 2.10) на основании расчетных данных (табл. 2.1).

Таблица 2.1

### Величины критических частот вращения шнека

$\Omega$	$\alpha, ^\circ$	$\beta, ^\circ$	N - модерн., об/мин	N - типов., об/мин
10	-	-	-	6,18
10	0	60	3,66	"-//-"
10	15	40	3,43	"-//-"
10	30	20	3,38	"-//-"
10	45	10	3,06	"-//-"
10	60	0	3,08	"-//-"
10	75	15	3,23	"-//-"
10	90	30	3,7	"-//-"

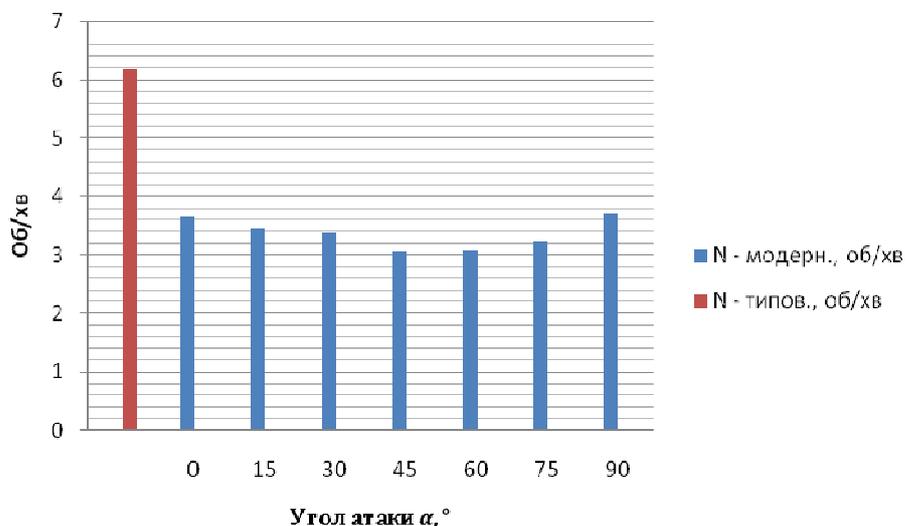


Рис. 2.10. Гистограмма распределения критической частоты вращения шнека.

## 2.4 Определение энергоёмкости шнекового конвейера с дополнительными лопастями.

Энергоёмкость - величина потребления энергии и (или) топлива на основные и вспомогательные технологические процессы изготовления продукции, выполнение работ, оказание услуг на базе заданной технологической системы.

Численным выражением энергоёмкости системы является показатель, представляющий собой отношение энергии, потребляемой системой (сила), к величине, характеризующей результат функционирования данной системы (скорость перемещения). Классическое выражение энергоёмкости имеет вид произведения силы на скорость:

$$P = F \cdot V, \quad (2.38)$$

где в качестве силы для нашего случая используем  $F_{дв}$ . Что же касается скорости, то целесообразнее выразить скорость через критическую частоту вращения:

$$V = \frac{\pi \cdot d \cdot n_{кр}}{1000}. \quad (2.39)$$

Для определения энергоёмкости шнекового конвейера с дополнительными лопастями в уравнение (2.38) поставляем уравнения (2.39) с учетом использования в качестве силы  $F_{дв}$ :

$$P = 10^{-3} \cdot \pi \cdot d \cdot F_{дв} \cdot n_{кр}. \quad (2.40)$$

Соответственно определение энергоёмкости шнекового конвейера классической конструкции выражается аналогичным по структуре уравнением:

$$P = 10^{-3} \cdot \pi \cdot d \cdot F \cdot n. \quad (2.41)$$

Проведенный количественный анализ сопоставляемых уравнений критической частоты вращения шнека (2.40) и (2.41) целесообразнее и нагляднее выразить графическим способом (рис. 2.11) на основании расчетных данных (табл. 2.2).

Таблица 2.2

### Энергоемкость шнекового конвейера

Н - типов., об/хв	Н - модерн., об/хв	Фдв типов. шнек	Фдв шнек модерн.	угол атаки лопастей $\alpha, ^\circ$	Энергоемк. Р типов., Вт/мин	Энергоемк. Р модерн., Вт/мин
6,18		51,8			100,5	
	3,43		46,7	15		50,3
	3,38		26,7	30		28,3
	3,06		16,8	45		16,1
	3,08		27,8	60		26,9
	3,23		41,2	75		41,8
	3,7		57,2	90		66,5

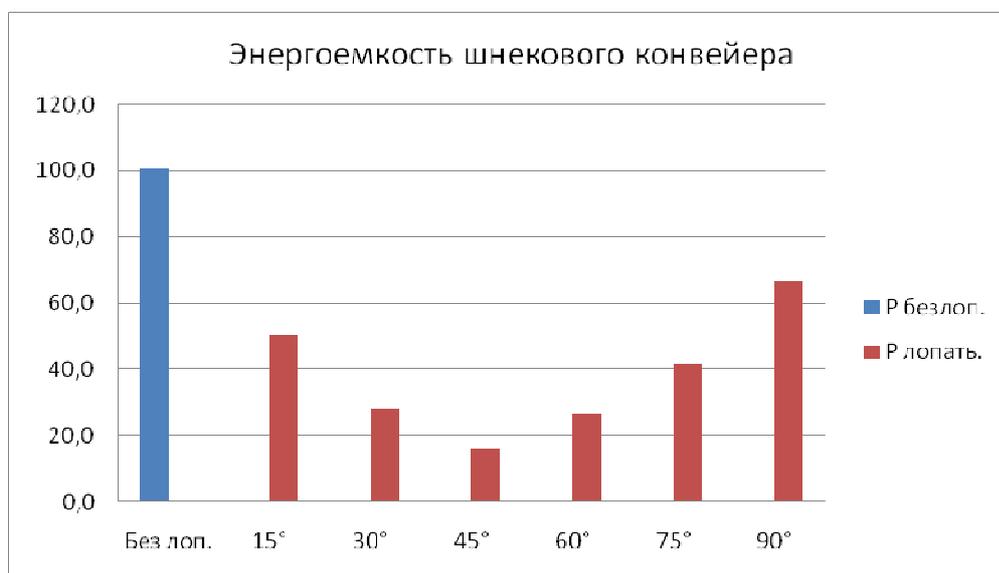


Рис.2.11. Гистограмма энергоемкости шнекового конвейера.

Из гистограммы энергоемкости шнекового конвейера (рис. 2.11) следует уменьшение энергоемкости шнекового конвейера с

дополнительными лопастями по сравнению с типовой конструкцией. Причем пик спада энергоемкости наблюдается в диапазоне угла атаки дополнительных лопастей от 30° до 60°.

## 2.5 Определение производительности шнекового конвейера с дополнительными лопастями

Производительность устройства – величина действия устройства, то есть отношение количества произведённой работы (выпущенного продукта) ко времени их выполнения (выпуска), объёма продукции (работы), производимой в единицу времени (энергоемкости) данным оборудованием в соответствии с его конструктивными особенностями, технической характеристикой и производственной квалификацией рабочих.

Из определения производительности можем записать следующее:

$$Q = A / P, \quad (2.42)$$

где  $A$  – работа шнекового конвейера;

$P$  – энергоемкость шнекового конвейера.

Работа – это физическая величина, являющаяся скалярной количественной мерой действия силы или сил на тело или систему, зависящая от численной величины, направления силы (сил) и от перемещения точки (точек), тела или системы. Математическое выражение работы имеет вид:

$$A = F \cdot S. \quad (2.43)$$

Подставляя определенные ранее составляющие в уравнение (2.43), получаем следующий вид математического выражения для определения работы шнекового конвейера с дополнительными лопастями:

$$A = F \cdot t, \quad (2.44)$$

где  $t$  – шаг спирали шнека.

Силу  $F$  выражаем следующим образом:

$$F = m \cdot g,$$

откуда массу  $m$  выражаем из уравнения плотности:

$$m = \rho \cdot V,$$

где  $\rho$  – плотность транспортируемой металлической стружки;

$V$  – объем или же, в данном случае, наполняемость желоба ( $h$ ).

Работа шнекового конвейера, выраженная формулой (2.44), претерпевает преобразования составляющих для определения его производительности. С учетом преобразований формула работы шнекового конвейера (2.44) имеет вид:

$$A = h \cdot g \cdot \rho \cdot t. \quad (2.45)$$

Соответственно подставляя уравнения (2.40) и (2.45) в уравнение (2.42) с учетом количества дополнительных лопастей получаем формулу производительности шнекового конвейера с дополнительными лопастями:

$$Q = (h \cdot g \cdot \rho \cdot t \cdot N / 10^{-3} \cdot \pi \cdot d \cdot F_{дв} \cdot n_{кр}) \cdot S \cdot f_M \cdot K, \quad (2.46)$$

где  $N$  – количество дополнительных лопастей;

$S$  – коэффициент, учитывающий поправку на геометрию и форму стружки;

$f_M$  – коэффициент, учитывающий поправку на материал металлической стружки.

Также необходимо учитывать геометрию дополнительной лопасти, а именно площадь поверхности. Очевидно, что наибольшая площадь поверхность обеспечит большую производительность. Однако размер использованной дополнительной лопасти ограничивается желобом шнекового конвейера. Поэтому рекомендуется применять дополнительные лопасти с геометрическими параметрами, не превышающими размеры витка шнека или быть равной ему.

Коэффициенты уравнения (2.46) выражаются с помощью методики планирования эксперимента.

Планирование эксперимента дает исследователю математически обоснованную схему логических операций, позволяет управлять экспериментом при неполном знании механизма физических явлений [124, 125, 126]. Вместо традиционного однофакторного эксперимента, когда при проведении опытов поочередно варьируется только один фактор и основной задачей исследователя является фиксирование всех других факторов на неизменном уровне, при планировании эксперимента рекомендуется одновременно изменять все исследуемые факторы согласно определенному плану эксперимента. Этим достигается сокращение объема экспериментов и получение более достоверных зависимостей, учитывающих взаимодействие факторов [127].

В основу проведения экспериментов был положен метод одновременного варьирования основными параметрами, влияющими на производительность модернизированной лопасти ( $L$  – количество дополнительных лопастей,  $Z$  – заполняемость желоба,  $A$  – угол атаки лопастей,  $M$  – материал транспортируемой стружки,  $P$  – размер транспортируемой стружки), в котором определялись не частные зависимости, а функциональная зависимость показателей от всех исследуемых параметров. Для установления функциональной зависимости использована формула:

$$P = C \cdot L^x \cdot Z^k \cdot A^z \cdot M^u \cdot P^q \quad (2.47).$$

В этой формуле под  $P$  принято производительность.

Прологарифмировав формулу производительности, получим:

$$\log P = \log C + x \cdot \log L + k \cdot \log Z + z \cdot \log A + u \cdot \log M + q \cdot \log P \quad (2.48)$$

или

$$y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3 + b_4 \cdot x_4 + b_5 \cdot x_5 + f, \quad (2.49)$$

где  $\log P = y$  – данные, полученные в опытах;

$b_0, b_1, b_2, b_3, b_4, b_5$  – значения коэффициентов;

$x_1, x_2, x_3, x_4, x_5$  – логарифмы параметров производительности Л, З, А, М, Р;

$f$  – ошибка эксперимента.

План опытов предусматривает три основных и два вспомогательных уровня для каждой переменной. Уровень выбирали с учетом используемого в исследовании модернизированного шнекового конвейера. Принятые уровни переменных и кодовые обозначения приведены в табл. 2.3.

Для удобства принятые уровни закодированы с помощью уравнений преобразования (2.48) и (2.49) таким образом, что нижний уровень соответствует -1, верхний +1, а основной уровень варьирования равняется нулю.

Таблица 2.3

### Уровни варьирования факторов

Факторы	Обозначения факторов	$x_1^* = -1,414$	$x_1 = -1$	$x_1 = 0$	$x_1 = 1$	$x_1^* = 1,414$
Количество лопастей, N, штук	$x_1$	0	1	2	3	4
Заполняемость желоба, h, %	$x_2$	20	25	30	35	40
Угол атаки лопастей, $\alpha$ , град °	$x_3$	15	30	45	60	75
Материал стружки, $f_m$ , (коэф. трения)	$x_4$	0,08	0,12	0,2	0,28	0,32
Размер стружки, S, мм	$x_5$	2	4	8	12	16

Для факторов с непрерывной областью определения это возможно осуществить с помощью преобразования:

$$X_j = \frac{\tilde{X}_j - \tilde{X}_{j0}}{I_j}, \quad (2.50)$$

где  $X_j$  – кодированное значение фактора;

$\tilde{X}_j$  – натуральное значение фактора;

$\tilde{X}_{j0}$  – натуральное значение основного уровня;

$I_j$  – интервал варьирования;

$j$  – номер фактора.

С помощью формулы преобразования запишем матрицу плана проведения экспериментов и полученные результаты эксперимента (табл. 2.4).

Для приближения к наиболее эффективному значению использовалась математическая модель вида:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_k),$$

где  $x_1, \dots, x_k$  – факторы зависимостей.

В данном случае математическая модель для полного пятифакторного эксперимента с эффектом взаимодействия пятого порядка имеет вид:

$$\begin{aligned} y = & b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3 + b_4 \cdot x_4 + b_5 \cdot x_5 + b_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 + \\ & + b_{13} \cdot x_1 \cdot x_3 + b_{14} \cdot x_1 \cdot x_4 + b_{15} \cdot x_1 \cdot x_5 + b_{23} \cdot x_2 \cdot x_3 + b_{24} \cdot x_2 \cdot x_4 + \\ & + b_{25} \cdot x_2 \cdot x_5 + b_{34} \cdot x_3 \cdot x_4 + b_{35} \cdot x_3 \cdot x_5 + b_{45} \cdot x_4 \cdot x_5 + b_{123} \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 + \\ & + b_{124} \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_4 + b_{125} \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_5 + b_{134} \cdot x_1 \cdot x_3 \cdot x_4 + b_{135} \cdot x_1 \cdot x_3 \cdot x_5 + \\ & + b_{145} \cdot x_1 \cdot x_4 \cdot x_5 + b_{234} \cdot x_2 \cdot x_3 \cdot x_4 + b_{235} \cdot x_2 \cdot x_3 \cdot x_5 + b_{245} \cdot x_2 \cdot x_4 \cdot x_5 + \\ & + b_{345} \cdot x_3 \cdot x_4 \cdot x_5 + b_{1234} \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \cdot x_4 + b_{1235} \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \cdot x_5 + \\ & + b_{1245} \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_4 \cdot x_5 + b_{1345} \cdot x_1 \cdot x_3 \cdot x_4 \cdot x_5 + b_{2345} \cdot x_2 \cdot x_3 \cdot x_4 \cdot x_5 + \\ & + b_{12345} \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \cdot x_4 \cdot x_5. \end{aligned} \quad (2.51)$$

Целью проведения исследований является определение по результатам эксперимента значения неизвестных коэффициентов рассматриваемой модели. До данного момента, говоря о модели, мы не останавливались на

важном вопросе о статистической оценке ее коэффициентов. Можно утверждать, что эксперимент проводится для проверки гипотезы о том, что линейная модель  $y = f(x_1, x_2, \dots, x_k)$  адекватна. Эксперимент, содержащий конечное число опытов, позволяет только получить выборочные оценки для коэффициентов уравнения (2.51). Их точность и надежность зависят от свойств выборки и нуждается в статистической проверке.

Коэффициенты можно вычислить по формуле:

$$b_j = \frac{\sum_{i=1}^N x_{ji} \cdot y_i}{n}, j = 0, 1, 2, \dots, k, \quad (2.52)$$

где  $n$  – количество опытов.

Для подсчета коэффициента  $b_1$  используем вектор-столбец  $x_1$ , а для  $b_2$  – столбец  $x_2$ . Остается неясным нахождение  $b_0$ . Если наше уравнение (2.51) справедливо, то оно верно и для средних арифметических значений переменных. Но в силу свойства симметрии  $\bar{X}_1 = \bar{X}_2 = 0$ ,  $\bar{y} = b_0$ . Следовательно,  $b_0$  есть среднее арифметическое значение параметра наибольшей эффективности. Коэффициенты линейной модели (2.51) имеют следующие величины (табл. 2.4):

Таблица 2.4

#### Коэффициенты линейной модели

$b_0 = 190,8$	$b_{14} = 0,42$	$b_{123} = 289,2$	$b_{245} = 52,9$
$b_1 = 3,66$	$b_{15} = -19,1$	$b_{124} = -12,8$	$b_{345} = 80,8$
$b_2 = -27,2$	$b_{23} = -130,3$	$b_{125} = 58$	$b_{1234} = -58$
$b_3 = 44,3$	$b_{24} = 5,8$	$b_{134} = 19$	$b_{1235} = 261,5$
$b_4 = 0,11$	$b_{25} = 238,9$	$b_{135} = -85,2$	$b_{1245} = 119,6$
$b_5 = -7,2$	$b_{34} = -8,8$	$b_{145} = 3,94$	$b_{1345} = -179,4$
$b_{12} = 65,12$	$b_{35} = 377,8$	$b_{234} = 263,3$	$b_{2345} = 24,4$
$b_{13} = -94,7$	$b_{45} = 1,77$	$b_{235} = -114,3$	$b_{12345} = 54,8$

Коэффициенты при независимых переменных указывают на силу влияния факторов. Чем больше численная величина коэффициента, тем большее влияние оказывает фактор. Если коэффициент имеет знак плюс, то с увеличением величины фактора параметр эффективности увеличивается. Величина коэффициента соответствует вкладу данного фактора в величину параметра эффективности при переходе фактора с нулевого уровня на верхний или нижний.

Подставив найденные коэффициенты в уравнение (2.51), получим следующее соотношение:

$$\begin{aligned}
 y = & 190,8 + 3,66 \cdot \tilde{x}_1 - 27,2 \cdot \tilde{x}_2 + 44,3 \cdot \tilde{x}_3 + 0,11 \cdot \tilde{x}_4 - 7,2 \cdot \tilde{x}_5 + \\
 & + 65,12 \cdot \tilde{x}_1 \cdot \tilde{x}_2 - 94,7 \cdot \tilde{x}_1 \cdot \tilde{x}_3 + 0,42 \cdot \tilde{x}_1 \cdot \tilde{x}_4 - 19,1 \cdot \tilde{x}_1 \cdot \tilde{x}_5 - \\
 & - 130,3 \cdot \tilde{x}_2 \cdot \tilde{x}_3 + 5,8 \cdot \tilde{x}_2 \cdot \tilde{x}_4 + 238,9 \cdot \tilde{x}_2 \cdot \tilde{x}_5 - 8,8 \cdot \tilde{x}_3 \cdot \tilde{x}_4 + \\
 & + 377,8 \cdot \tilde{x}_3 \cdot \tilde{x}_5 + 1,77 \cdot \tilde{x}_4 \cdot \tilde{x}_5 + 289,2 \cdot \tilde{x}_1 \cdot \tilde{x}_2 \cdot \tilde{x}_3 - 12,8 \cdot \tilde{x}_1 \cdot \tilde{x}_2 \cdot \tilde{x}_4 + \\
 & + 58 \cdot \tilde{x}_1 \cdot \tilde{x}_2 \cdot \tilde{x}_5 + 19 \cdot \tilde{x}_1 \cdot \tilde{x}_3 \cdot \tilde{x}_4 - 85,2 \cdot \tilde{x}_1 \cdot \tilde{x}_3 \cdot \tilde{x}_5 + 3,94 \cdot \tilde{x}_1 \cdot \tilde{x}_4 \cdot \tilde{x}_5 + \\
 & + 263,2 \cdot \tilde{x}_2 \cdot \tilde{x}_3 \cdot \tilde{x}_4 - 114,3 \cdot \tilde{x}_2 \cdot \tilde{x}_3 \cdot \tilde{x}_5 + 52,9 \cdot \tilde{x}_2 \cdot \tilde{x}_4 \cdot \tilde{x}_5 + \\
 & + 80,8 \cdot \tilde{x}_3 \cdot \tilde{x}_4 \cdot \tilde{x}_5 - 58 \cdot \tilde{x}_1 \cdot \tilde{x}_2 \cdot \tilde{x}_3 \cdot \tilde{x}_4 + 261,5 \cdot \tilde{x}_1 \cdot \tilde{x}_2 \cdot \tilde{x}_3 \cdot \tilde{x}_5 + \\
 & + 119,6 \cdot \tilde{x}_1 \cdot \tilde{x}_2 \cdot \tilde{x}_4 \cdot \tilde{x}_5 - 179,4 \cdot \tilde{x}_1 \cdot \tilde{x}_3 \cdot \tilde{x}_4 \cdot \tilde{x}_5 + 24,4 \cdot \tilde{x}_2 \cdot \tilde{x}_3 \cdot \tilde{x}_4 \cdot \tilde{x}_5 + \\
 & + 54,8 \cdot \tilde{x}_1 \cdot \tilde{x}_2 \cdot \tilde{x}_3 \cdot \tilde{x}_4 \cdot \tilde{x}_5 .
 \end{aligned} \tag{2.53}$$

В уравнении (2.53) переменные значения  $\tilde{x}_1, \tilde{x}_2, \tilde{x}_3, \tilde{x}_4, \tilde{x}_5$  представляют собой кодированные величины. Для удобства вычисления кодированные величины заменяем натуральными

$$\begin{aligned}
 \tilde{x}_1 &= \frac{N - 2}{1} = N - 2; \\
 \tilde{x}_2 &= \frac{h - 30}{5} = 0,2 \cdot h - 6;
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\tilde{x}_3 &= \frac{\alpha - 45}{15} = 0,2 \cdot \alpha - 9; \\ \tilde{x}_4 &= \frac{f_M - 0,2}{0,08} = 5 \cdot f_M - 1; \\ \tilde{x}_5 &= \frac{S - 8}{4} = 0,25 \cdot S - 2,\end{aligned}\tag{2.54}$$

где  $N$  – количество лопастей, штук;

$h$  – заполняемость желоба, %;

$\alpha$  – угол атаки лопастей, град °;

$f_M$  – материал стружки (коэф. трения);

$S$  – размер стружки, мм.

Подставив выражение (2.54) в уравнение (2.53), получим математическую зависимость для определения наиболее эффективных параметров вышеуказанных факторов:

$$\begin{aligned}\Pi = y &= 320 + 3,66 \cdot N - 19,91 \cdot h + 8,86 \cdot \alpha + 0,55 \cdot f_M - 1,8 \cdot S + \\ &+ 13 \cdot N \cdot h - 18,94 \cdot N \cdot \alpha + 2,1 \cdot N \cdot f_M - 4,78 \cdot N \cdot S - \\ &- 5,2 \cdot h \cdot \alpha + 5,8 \cdot h \cdot f_M + 11,95 \cdot h \cdot S - 8,8 \cdot \alpha \cdot f_M + \\ &+ 18,89 \cdot \alpha \cdot S + 2,21 \cdot f_M \cdot S + 11,6 \cdot N \cdot h \cdot \alpha - 12,8 \cdot N \cdot h \cdot f_M + \\ &+ 2,9 \cdot N \cdot h \cdot S + 19 \cdot N \cdot \alpha \cdot f_M - 4,26 \cdot N \cdot f_M \cdot S + 4,93 \cdot N \cdot f_M \cdot S + \\ &+ 52,64 \cdot h \cdot \alpha \cdot f_M - 1,14 \cdot h \cdot \alpha \cdot S + 13,23 \cdot h \cdot f_M \cdot S + \\ &+ 20,2 \cdot \alpha \cdot f_M \cdot S - 11,6 \cdot N \cdot h \cdot \alpha \cdot f_M + 2,62 \cdot N \cdot h \cdot \alpha \cdot S + \\ &+ 29,9 \cdot N \cdot h \cdot f_M \cdot S - 44,85 \cdot N \cdot \alpha \cdot f_M \cdot S + 1,22 \cdot h \cdot \alpha \cdot f_M \cdot S + \\ &+ 0,27 \cdot N \cdot h \cdot \alpha \cdot f_M \cdot S.\end{aligned}\tag{2.55}$$

Полученная математическая зависимость (2.55) позволяет определить наиболее эффективные величины исследуемых параметров. Полученные данные используем для решения уравнений и в результате получаем

приведенные значения коэффициентов. В результате дальнейших преобразований были получены следующие значения  $L = 3,2$ ;  $Z = 1943,3$ ;  $A = 42,1^\circ$ . Данные значения можно принять действительными при идеальных условиях, за исключением количества лопастей – параметр  $L$ . Полученные значения  $f_m$  и  $S$  имеют следующие величины (табл. 2.5 и 2.6):

Таблица 2.5

**Величины поправочного коэффициента материала металлической стружки.**

Материал стружки	Алюминий	Сталь	Чугун
Значение коэф. $f_m$	0,25	0,55	0,85

Таблица 2.6

**Величины поправочного коэффициента геометрии и формы металлической стружки.**

Тип стружки $S, \text{мм}$	Сливная	Скалывания	Надлома
	$< 4$	0,75	0,8
от 4 до 10	0,65	0,75	0,85
$> 10$	0,5	0,7	0,8

Для упрощения формулы (2.46) переводим стандартные величины в систему СИ и преобразовываем полученные значения в единый коэффициент. А именно:

$$\pi = 3,14;$$

$$g = 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2};$$

$$n_{\text{кр}}: \text{об/мин переводим в об/час} - 60^{-1}.$$

Подставляя полученные величины в формулу (2.46) и выполнив стандартные математические действия, получаем:

$$Q = (52 \cdot h \cdot \rho \cdot t \cdot N / d \cdot F_{\text{дв}} \cdot n_{\text{кр}}) \cdot S \cdot f_M \cdot K. \quad (2.56)$$

Коэффициент  $K$  является поправочным и может быть определен из графических зависимостей сопоставлений экспериментальных данных с аналитическими расчетами производительностей при различных условиях.

Классическое выражение для определения производительности шнекового конвейера имеет вид:

$$Q = 47 \cdot d^2 \cdot t \cdot n \cdot h \cdot \rho \cdot C. \quad (2.57)$$

где  $C$  – коэффициент, зависящий от угла наклона шнека к горизонту, определенный в ранее известных работах.

На основании анализа сопоставляемых уравнений (2.56) и (2.57) получаем расчетные данные, которые легли в основу графической зависимости (рис. 2.12) производительностей шнековых конвейеров классической и лопастной конструкций (транспортируемый материал – стружка надлома, чугунная площадью от 4 до 10 мм; расчетные данные приведены для шнекового конвейера с двумя дополнительными лопастями).



Рис. 2.12. Гистограмма производительности шнекового конвейера.

Из гистограммы производительности шнекового конвейера (рис 2.12) следует увеличение производительности шнекового конвейера с дополнительными лопастями. Причем наблюдается существенный рост

производительности в диапазоне угла атаки дополнительных лопастей от  $30^\circ$  до  $60^\circ$ . Пиковое значение производительности достигается при угле атаки дополнительных лопастей в пределах  $45^\circ$ . Также на основании гистограммы производительности шнекового конвейера (рис 2.12) следует использовать вышеуказанный диапазон для определения значений поправочного коэффициента  $K$ , состоящего из произведения коэффициентов  $K_1, K_2, K_3$ . Коэффициенты  $K_1, K_2, K_3$  отображают погрешность аналитической и экспериментальной взаимосвязи исследуемых параметров: угол атаки, количество лопастей и наполняемость желоба. Графические зависимости (рис. 2.13-2.15) сопоставлений экспериментальных данных с аналитическими расчетами (табл. 2.7-2.9) производительностей при различных условиях дают возможность определить величины поправочных коэффициентов.

Таблица 2.7

**Сопоставление аналитических и экспериментальных данных производительности конвейера по углу атаки и наполняемости желоба.**

Производительность экспериментальная/аналитическая						
Наполняемость $h$ , г/%	Угол атаки $\alpha$ , °					
	экспериментальный			аналитический		
	30	45	60	30	45	60
1625/25	179	200,8	193,4	183,5	206,3	197,2
1950/30	399,5	438,5	415,7	390,8	430,1	408,2
2275/35	420,4	468,5	445,2	411,3	460,1	437,3

Величины поправочных коэффициентов  $K_1, K_2, K_3$  приведены в таблицах 2.10-2.12.

Однако, значения коэффициентов  $K_1, K_2$  и  $K_3$ , как составляющие коэффициента  $K$ , – являются лишь частным случаем. Поэтому следует выразить значение коэффициента  $K$  в общем виде. Для этого используем метод трехфакторного эксперимента.

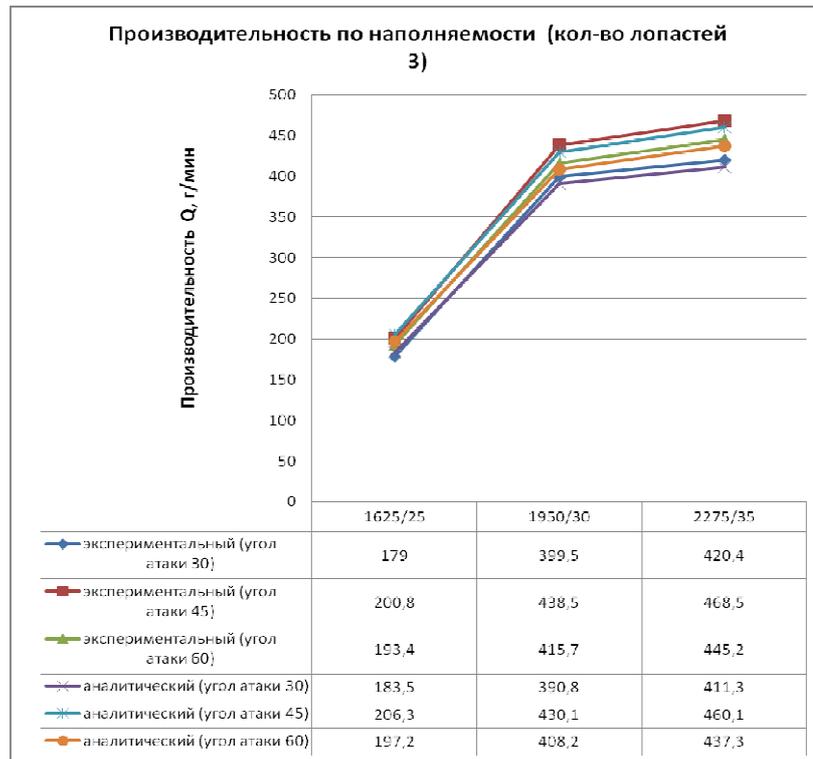


Рис. 2.13. Графики производительности шнекового конвейера по углу атаки и наполняемости желоба.

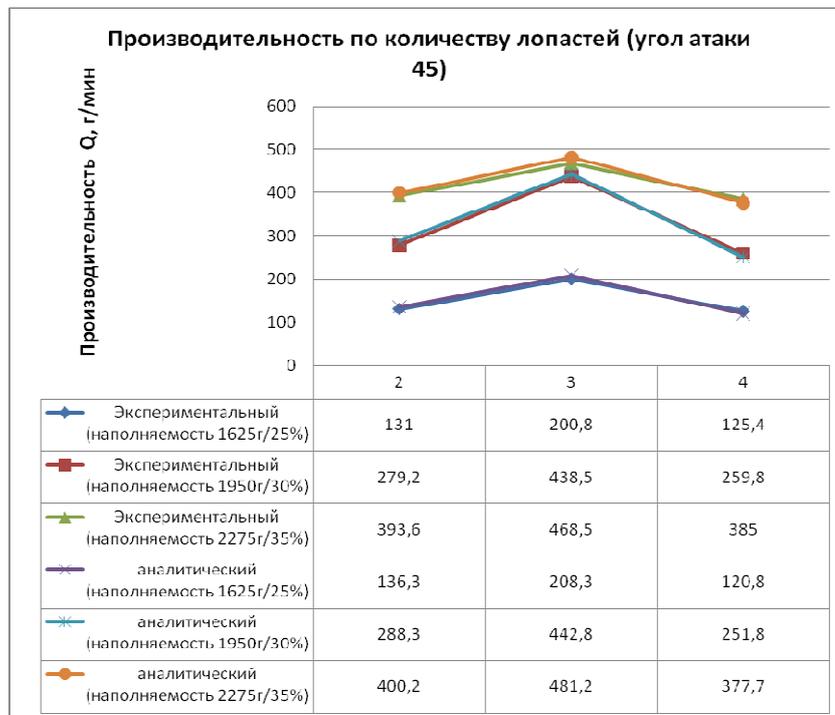


Рис. 2.14. График производительности шнекового конвейера по наполняемости желоба и количеству дополнительных лопастей

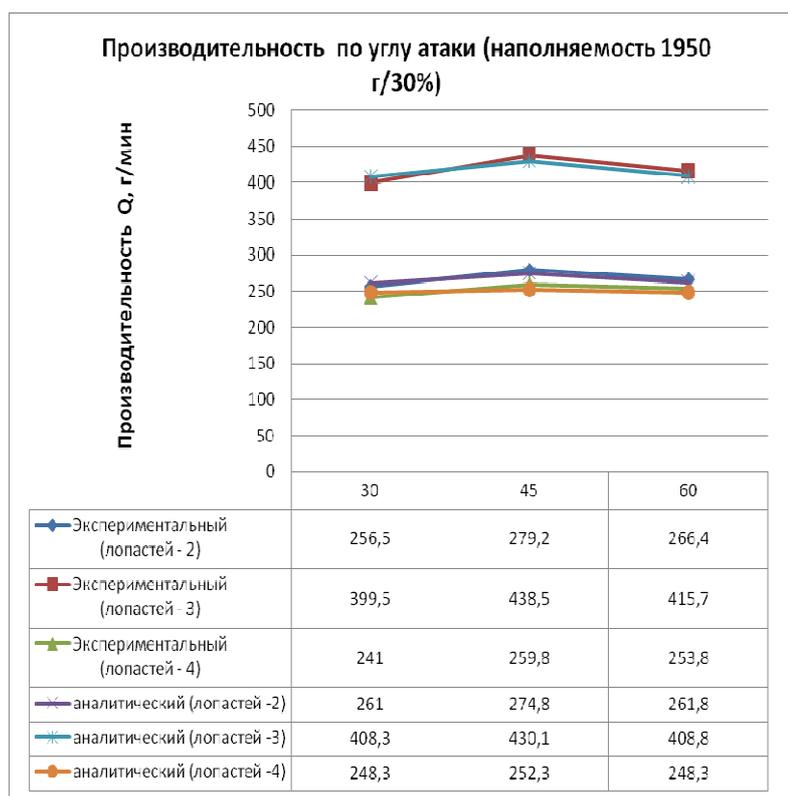


Рис. 2.15. График производительности шнекового конвейера по углу атаки и количеству дополнительных лопастей.

Таблица 2.8

**Сопоставление аналитических и экспериментальных данных  
производительности конвейера по наполняемости желоба и количеству  
дополнительных лопастей**

Производительность экспериментальная/аналитическая						
Количество дополнительных лопастей N, шт	Наполняемость h, г/%					
	экспериментальный			аналитический		
	1625/25	1950/30	2275/35	1625/25	1950/30	2275/35
2	131	279,2	393,6	136,3	288,3	400,2
3	200,8	438,5	468,5	208,3	442,8	481,2
4	125,4	259,8	385	120,8	251,8	377,7

**Сопоставление аналитических и экспериментальных данных  
производительности конвейера по углу атаки и количеству  
дополнительных лопастей**

Производительность экспериментальная/аналитическая						
Угол атаки дополнительных лопастей $\alpha$ , °	Количество дополнительных лопастей N, шт					
	экспериментальный			аналитический		
	2	3	4	2	3	4
30	256,5	399,5	241	261	408,3	248,3
45	279,2	438,5	259,8	274,8	430,1	252,3
60	266,4	415,7	253,8	261,8	408,8	248,3

Таблица 2.10

**Значения поправочного коэффициента K1**

Угол атаки $\alpha$ , °	30	45	60
K1	1,0223	1,0219	1,0184

Таблица 2.11

**Значения поправочного коэффициента K2**

Наполняемость h, г/%	1625/25	1950/30	2275/35
K2	0,964	0,9903	0,9736

Таблица 2.12

**Значения поправочного коэффициента K3**

Количество лопастей N, шт	2	3	4
K3	1,016	1,0195	1,0297

Основой данного трехфакторного эксперимента являются основные параметры, существенно влияющие на производительность, а именно:

Л – количество дополнительных лопастей;

З – заполняемость желоба;

А – угол атаки лопастей.

Варьирование данными параметрами определяет не частную зависимость, а функциональную зависимость показателей от всех исследуемых параметров. Функциональная зависимость может быть описана формулой:

$$P_3 = C \cdot L^x \cdot Z^k \cdot A^z. \quad (2.58)$$

В этой формуле под  $P_3$  можно принять любой параметр, имеющий функциональную связь с изменяющимися исследуемыми параметрами. В данном случае это производительность экспериментальная.

Прологарифмировав формулу производительности, получим:

$$\log P_3 = \log C + x \cdot \log L + k \cdot \log Z + z \cdot \log A \quad (2.59)$$

или

$$y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3 + K, \quad (2.60)$$

где  $\log P_3 = y$  – данные, полученные в опытах;

$b_0, b_1, b_2, b_3$  – значения коэффициентов;

$x_1, x_2, x_3$  – логарифмы параметров производительности Л, З, А;

К – ошибка эксперимента.

План опытов предусматривает три уровня для каждой переменной. Уровень выбирали с учетом используемого в исследовании модернизированного шнекового конвейера. Принятые уровни переменных и кодовые обозначения приведены в табл. 2.13.

Уровни переменных и кодовые обозначения

Уровень	Параметры производительности			Кодовое обозначение		
	Л, шт	А, град	З, гр	$x_1$	$x_2$	$x_3$
Верхний	4	60	1950	1	1	1
Средний	3	45	1625	0	0	0
Нижний	2	30	1300	-1	-1	-1

Для удобства принятые уровни закодированы с помощью уравнений преобразования (2.61) – (2.63) таким образом, что нижний уровень соответствует -1, а верхний +1:

$$x_1 := \frac{2 \cdot (\log(L) - \log(4))}{(\log(4) - \log(2))} + 1 ; \quad (2.61)$$

$$x_2 := \frac{2 \cdot (\log(A) - \log(60))}{(\log(60) - \log(30))} + 1 ; \quad (2.62)$$

$$x_3 := \frac{2 \cdot (\log(Z) - \log(1950))}{(\log(1950) - \log(1300))} + 1 . \quad (2.63)$$

В соответствии с проведенными опытами были составлены уравнения, затем для упрощения математических зависимостей и уменьшения вероятности появления ошибок с помощью матричного математического аппарата найдены их решения. Для чего была использована основная формула:

$$b = (X^T X)^{-1} X^T y, \quad (2.64)$$

где матрица независимых переменных  $X$  для серии опытов имеет вид:

$$X := \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 \\ -1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 \\ -1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Эта прямоугольная матрица может быть без изменения ее численного значения превращена в транспонированную матрицу  $X^T$ :

$$X^T := \begin{pmatrix} 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Поскольку число столбцов первого сомножителя уравнения равно числу строк во втором сомножителе, постольку нахождение произведения  $X^T X$  этих прямоугольных матриц сводится к их умножению. Опуская промежуточные вычисления, получим:

$$X \cdot X^T = \begin{pmatrix} 3 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 3 & -1 & -1 & -3 & 1 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 3 & -1 & 1 & 1 & -3 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & -1 & 3 & 1 & -3 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & -3 & 1 & 1 & 3 & -1 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & 1 & -3 & -1 & 3 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & -3 & 1 & -1 & -1 & 3 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -3 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Полученную матрицу преобразовываем в обратную, после чего приравниваем к равносильной системе однородных уравнений относительно неизвестных коэффициентов матрицы  $X$ . Полученные данные используем для решения уравнений и в результате можем записать значения коэффициента  $K$  в виде:

$$K = y - (b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3) \quad (2.65)$$

Преобразованная формула (2.65) значения коэффициента  $K$  в общем виде имеет вид:

$$K = \log \Pi_3 - (\log C + x \cdot \log L + k \cdot \log Z + z \cdot \log A) \quad (2.66)$$

Подставив преобразованную формулу (2.66) значения коэффициента  $K$  в общем виде в формулу (2.56), получим итоговую формулу (2.67) для определения производительности шнекового конвейера с дополнительными лопастями:

$$Q = \frac{52 \cdot h \cdot \rho \cdot t \cdot N}{d \cdot F_{\text{дв}} \cdot n_{\text{кр}}} \cdot S \cdot f_M \cdot$$

$$\cdot [\log \Pi_9 - (\log C + x \cdot \log I + k \cdot \log Z + z \cdot \log A)] \quad (2.67)$$

## Выводы к разделу 2

1. Проведен детальный математический анализ схема сил, действующих на частицу металлической стружки, транспортируемую шнековым конвейером с дополнительными лопастями.

2. Разработана технологическая схема вариации эффективного расположения лопастей в зависимости от пространственного угла  $\beta$  и угла атаки  $\alpha$ .

3. Разработана технологическая схема перемещения частиц металлической стружки в поперечном и фронтальном сечениях наиболее эффективно наполненного желоба шнекового конвейера с дополнительными лопастями.

4. Выполнены расчеты влияния углов атаки и начала движения на величину движущей силы; определена критическая частота вращения шнека; рассчитана энергоемкость шнекового конвейера с дополнительными лопастями.

5. Впервые разработаны математические модели движущей силы, критической частоты и энергоемкости шнекового конвейера с дополнительными лопастями.

6. Получено аналитическое выражение производительности шнекового конвейера с установленными дополнительными лопастями с учетом поправочных коэффициентов (материала и типа стружки; угла атаки и количества дополнительных лопастей; наполняемости желоба).

### РАЗДЕЛ 3

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ШНЕКОВОГО КОНВЕЙЕРА.

### 3.1 Методика исследования процесса перемещения материала шнековым конвейером с установленными и закрепленными лопастями на самом теле пера шнека.

Были использованы экспериментальные исследования процесса транспортирования стружки на экспериментальной установке (рис. 3.1).



Рис. 3.1. Экспериментальная установка для изучения влияния параметров транспортирования стружки шнековым конвейером с дополнительными лопастями.

Для проведения исследования процесса перемещения материала шнековым конвейером с установленными и закрепленными лопастями на самом теле пера шнека использовался методика проведения эксперимента, которая состоит из следующих этапов [127]:

- установление цели эксперимента – исследование механизма взаимодействия транспортируемого материала шнекового конвейера с

установленными и закрепленными лопастями на самом теле пера шнека, исследование влияния угла установки лопастей на транспортирующие качества шнекового конвейера с установленными и закрепленными лопастями на самом теле пера шнека;

- уточнение условий проведения эксперимента – доступное и необходимое оборудование: специально сконструированный экспериментальный стенд, транспортируемый материал – стружка (рис. 3.2); набор гирек (рис.3.3); контрольно-измерительный прибор – весы с точностью измерения 2 г, разрешается взвешивать от 20 г до 2 кг, шкала 200 г (рис. 3.4); для проведения стендовых испытаний необходим один человек;

- выявление и выбор входных и выходных параметров – в качестве входных параметров используем загруженную массу транспортируемого материала в желоб конвейера, которая наращивается в последующих загрузках желоба экспериментатором, то есть являются детерминированными - регистрируемыми и управляемыми. Наряду с ними на выходные параметры оказывают влияние неуправляемые параметры, которые вносят случайную погрешность в результаты измерений. Это – погрешность измерительного оборудования; переработка или недоработка конвейера связанная с преждевременной или просроченной остановкой конвейера; заниженная или завышенная производительность конвейера связанная с пошаговой выгрузкой транспортируемого материала из желоба;



Рис. 3.2. Экспериментальный транспортируемый материал – стружка.



Рис. 3.3. Вспомогательное оборудование для проведения контроля эксперимента – набор гирек.



Рис. 3.4. Контрольно-измерительный прибор – весы аналитические.

- установление потребной точности результатов измерений – в качестве испытуемого транспортируемого материала используется стальная стружка (Сталь 40Х, предварительно дробленая), полученная в результате лезвийной обработки (точение) ступицы колеса, что свидетельствует о соответствии испытуемой стружке практической реальной стружке. Для проведения эксперимента использовалось 30 кг стружки, полученной при точении ступицы колес. При каждом последующем опыте стружка засыпалась новая, для возможности использования стружки различной формы и длины, полученной при вышеуказанных условиях. В качестве испытуемого шнекового конвейера используется шнековый транспортер зубофрезерного

станка, что соответствует реальным производственным условиям работы уборки стружки из зоны резания станка. Точность экспериментальных данных обеспечивается точностью контрольно-измерительного прибора. Точность измерения данного контрольно-измерительного прибора составляет 2 г. Минимально допустимый вес взвешиваемого материала составляет 20 г. Для избежание возможных погрешностей, связанных с недостаточным или избыточным весом материала, используем набор гирек. Точность экспериментальных данных также существенно зависит от объема (числа) испытаний – чем испытаний больше, тем (при тех же условиях) выше достоверность результатов. В данном случае число экспериментальных испытаний составило 10, что позволило увидеть постоянство результатов при незначительном разбеге.

Порядок проведения эксперимента:

1. В выделенной экспериментальной лаборатории (5-01), расположенной в 5-м корпусе Днепродзержинского государственного технического университета (Днепропетровская обл.), устанавливаем и настраиваем необходимое обеспечение:

- специально сконструированный экспериментальный стенд;
- контрольно-измерительный прибор – весы;
- набор гирек;
- транспортируемый материал – стружка (Сталь 40Х, предварительно измельченная), полученная в результате лезвийной обработки (точение) ступицы колеса;
- поддон – емкость, в которую будет транспортироваться стружка;
- средства индивидуальной защиты (халат, рукавицы, очки).

Также необходимо выполнить работы по проверке электропитания источника, дабы избежать перепадов напряжения влияющих на работу электродвигателя; пройти дополнительный инструктаж по технике безопасности.

2. Проверить работоспособность конвейера без загрузки транспортируемого материала, выбрать число оборотов двигателя таким образом, чтобы при передачи через редуктор число оборотов шнека составляло 10-12 об/мин, что является оптимальным числом оборотов шнекового конвейера [10].

3. Из 30 кг заранее подготовленной стружки, соблюдая правила техники безопасности, отобрать с помощью совка первую экспериментальную порцию материала, а именно 1300 г, что соответствует 20-ти процентной наполняемости желоба при транспортируемом расстоянии от пункта загрузки до пункта выгрузки 1 м.

4. Отобранные 1300г стружки загрузить в бункер загрузки конвейера.

5. Убедившись в соблюдении всех норм по технике безопасности, включаем электропитание двигателя. Продолжительность работы конвейера составляет 1 минуту, после чего электропитание отключается.

6. Отбираем стружку, которая была доставлена до пункта выгрузки, проводим контрольное взвешивание и записываем результаты в таблицу.

7. Из заранее подготовленных 30 кг стружки набираем такое же количество стружки, которое было оттранспортировано к пункту выгрузки за отведенное время – 1 минуту. После чего отправляем в конвейер через бункер загрузки новонабранную стружку. Данное действие предусматривает максимальное приближение процесса транспортирования стружки к производственным условиям благодаря использованию стружки различной формы и длины.

8. Данный комплекс действий повторяется 10 раз и сопровождается последующим последовательным повторением пунктов 5-7 (рис.3.5).

9. Увеличиваем загрузку желоба. Для этого из заранее подготовленных 30 кг стружки набираем 325 г стружки и через бункер загрузки отправляем в желоб. Полученная транспортируемая масса составит 1625 г, что соответствует 25-ти процентной наполняемости желоба при транспортируемом расстоянии от пункта загрузки до пункта выгрузки 1 м.



Рис. 3.5. Транспортирование стружки шнековым конвейером без дополнительных лопастей при загрузке желоба 1300г/20%.

10. Последовательно повторяем действия, описанные в пунктах 5-8.

11. Вновь увеличиваем загрузку желоба. Для этого из заранее подготовленных 30 кг стружки набираем 325 г стружки и через бункер загрузки отправляем в желоб. Полученная транспортируемая масса составит 1950 г, что соответствует 30-ти процентной наполняемости желоба при транспортируемом расстоянии от пункта загрузки до пункта выгрузки 1 м.

12. Вновь повторяем действия, описанные в пунктах 5-8.

13. Повышаем загрузку желоба до 35-ти процентной наполняемости. Для этого из заранее подготовленных 30 кг стружки набираем 325 г стружки и через бункер загрузки отправляем в желоб. Полученная транспортируемая масса составит 2275 г, что соответствует 35-ти процентной наполняемости желоба при транспортируемом расстоянии от пункта загрузки до пункта выгрузки 1 м.

14. Вновь повторяем действия, описанные в пунктах 5-8.

15. Выводим средние значения полученных результатов при различных загрузках желоба. По средним значениям результатов строим кривую зависимости «загрузки/выхода стружки» при работе шнека без лопастей.

16. Демонтировав шнек, удалить из желоба конвейера оставшуюся стружку с помощью щетки и совка. После чего выполнить монтаж шнека в рабочее положение.

17. Закрепляем лопасти на самом теле пера шнека и устанавливаем их на необходимый нам угол. В данном случае угол закрепления лопастей составляет  $15^\circ$ . Для установки лопастей на заданный угол используем угломер (рис.3.6).

18. Проверяем выполнение условий техники безопасности и работоспособность конвейера без загрузки транспортируемого материала.

19. Соблюдая правила техники безопасности, отобрать из 30 кг заранее подготовленной стружки с помощью совка первую экспериментальную порцию материала, а именно 1300 г, что соответствует 20-ти процентной наполняемости желоба при транспортируемом расстоянии от пункта загрузки до пункта выгрузки 1 м.

20. Убедившись в соблюдении всех норм по технике безопасности, включаем электропитание двигателя. Продолжительность работы конвейера составляет 1 минуту, после чего электропитание отключается.



Рис 3.6. Прибор для контроля угла атаки лопастей – угломер.

21. Отбираем стружку, которая была доставлена до пункта выгрузки и проводим контрольное взвешивание. Для проведения взвешивания рекомендуется использования гирек, т. к. масса материала, доставленного к пункту выгрузки, может превысить граничную шкалу лабораторных весов, которая составляет 200 г. Записываем результаты в таблицу.

22. Соблюдая нормы и требования по технике безопасности, включить электропитание конвейера на время работы равное одной третьей части оборота шнека, что приравнивается к 2 секундам. Данным действием на доступное пространство выводятся лопасти шнека для промежуточного контроля точности соответствия углу закрепления лопастей. Данное действия проводится в таком количестве раз, сколько лопастей установлено на одном пере шнека, дабы обеспечить контроль угла закрепления всех лопастей (транспортируемый материал – стружка находится в желобе).

23. Из заранее подготовленных 30 кг стружки набираем такое же количество стружки, которое было оттранспортировано к пункту выгрузки за отведенное время – 1 минуту (без учета возможно транспортированного материала во время контроля угла закрепления лопастей). После чего отправляем в конвейер через бункер загрузки новонабранную стружку. Данное действие предусматривает максимальное приближение процесса транспортирования стружки к производственным условиям благодаря использованию стружки различной формы и длины.

24. Данный комплекс действий повторяется 10 раз и сопровождается последующим последовательным повторением пунктов 20-23.

25. Увеличиваем загрузку желоба так, чтобы этапы загрузки соответствовали последовательности загруженности шнека без лопастей. Для этого из заранее подготовленных 30 кг стружки набираем 325 г стружки и через бункер загрузки отправляем в желоб. Полученная транспортируемая масса составит 1625 г, что соответствует 25-ти процентной наполняемости желоба при транспортируемом расстоянии от пункта загрузки до пункта выгрузки 1 м.

26. Последовательно повторяем действия, описанные в пунктах 20-24.

27. Вновь увеличиваем загрузку желоба. Для этого из заранее подготовленных 30 кг стружки набираем 325 г стружки и через бункер загрузки отправляем в желоб. Полученная транспортируемая масса составит 1950 г, что соответствует 30-ти процентной наполняемости желоба при транспортируемом расстоянии от пункта загрузки до пункта выгрузки 1 м.

28. Последовательно повторяем действия, описанные в пунктах 20-24.

29. Повышаем загрузку желоба до 35-ти процентной наполняемости. Для этого из заранее подготовленных 30 кг стружки набираем 325 г стружки и через бункер загрузки отправляем в желоб. Полученная транспортируемая масса составит 2275 г, что соответствует 35-ти процентной наполняемости желоба при транспортируемом расстоянии от пункта загрузки до пункта выгрузки 1 м.

30. Вновь последовательно повторяем действия, описанные в пунктах 20-24.

31. По значениям, занесенным в таблицу, вычисляем средние значения полученных результатов при различных загрузках желоба. По средним значениям результатов строим кривую зависимости «загрузки/выхода стружки» при работе шнека с закрепленными лопастями на самом теле пера шнека под углом 15°.

32. Изменяем угол атаки лопастей до 30°. Для этого демонтируем шнек, удаляем из желоба конвейера оставшуюся стружку с помощью щетки и совка. Раскрепляем зажим лопасти и меняем угол атаки лопасти, после чего фиксируем зажим. Контроль установленного угла атаки производится угломером. Устанавливаем шнек в рабочее положение.

33. Повторяем действия описанные в пунктах 18-31. Обязательно использовать набор гирек, чтобы не перегружать весы. Введу значительного увеличения количества стружки оттранспортированной к пункту выгрузки, разрешается использовать поддон – емкость с высоким бортом, при условии учета изменения веса поддона при установлении веса стружки в поддоне.

34. Изменяем угол атаки лопастей до  $45^\circ$ . Пользуемся рекомендациями, описанными в пункте 32 (рис. 3.7).



Рис. 3.7. Транспортирование стружки шнековым конвейером с дополнительными лопастями, расположенными под углом  $45^\circ$ , при загрузке желоба 2275Г/35%.

35. Строем кривую зависимости «загрузки/выхода стружки» при работе шнека с закрепленными лопастями на самом теле пера шнека под углом  $45^\circ$  по результатам, полученным путем последовательно повторения действий, описанных в пунктах 18-31.

36. Изменяем угол атаки лопастей до  $60^\circ$ . Пользуемся рекомендациями, описанными в пункте 32.

37. Строем кривую зависимости «загрузки/выхода стружки» при работе шнека с закрепленными лопастями на самом теле пера шнека под углом  $60^\circ$  по результатам, полученным путем последовательно повторения действий, описанных в пунктах 18-31.

38. Изменяем угол атаки лопастей до  $75^\circ$ . Пользуемся рекомендациями, описанными в пункте 32.

39. Строем кривую зависимости «загрузки/выхода стружки» при работе шнека с закрепленными лопастями на самом теле пера шнека под углом  $75^\circ$  по результатам, полученным путем последовательно повторения действий, описанных в пунктах 18-31.

40. Изменяем угол атаки лопастей до  $90^\circ$ . Пользуемся рекомендациями, описанными в пункте 32.

41. Строем кривую зависимости «загрузки/выхода стружки» при работе шнека с закрепленными лопастями на самом теле пера шнека под углом  $90^\circ$  по результатам, полученным путем последовательно повторения действий, описанных в пунктах 18-31.

42. На основании всех кривых зависимостей «загрузки/выхода стружки» при работе шнека с закрепленными лопастями на самом теле пера шнека получает график количественного характера. Для простоты восприятия графика кривые окрашены разными цветами.

Вышеуказанные и описанные п. 1-42 повторяем в соответствии с заданной последовательность для экспериментальной установки шнекового конвейера 4 раза, а именно:

- для шнекового конвейера с установленной на самом теле пера шнека одной (1) лопасти;
- для шнекового конвейера с установленными на самом теле пера шнека двумя (2) лопастями (угол между лопастями  $180^\circ$ );
- для шнекового конвейера с установленными на самом теле пера шнека тремя (3) лопастями (угол между лопастями  $120^\circ$ );
- для шнекового конвейера с установленными на самом теле пера шнека четырьмя (4) лопастями (угол между лопастями  $90^\circ$ ).

Данная методика проведения эксперимента позволит раскрыть всю полноту и многогранность процесса изменения производительности винтового конвейера с установленными лопастями на самом теле пера шнека.

### 3.2 Экспериментальный стенд и измерительная аппаратура.

В днепродзержинском государственном техническом университете автором для проведения опыта был специально сконструирован экспериментальный стенд. Экспериментальный стенд состоит из следующих устройств:

- шнековый транспортер;
- транспортируемый материал;
- измерительная аппаратура.

В качестве экспериментального шнекового конвейера (рис. 3.8) используется шнековый транспортер зубофрезерного станка, что соответствует реальным производственным условиям работы уборки стружки из зоны резания станка.

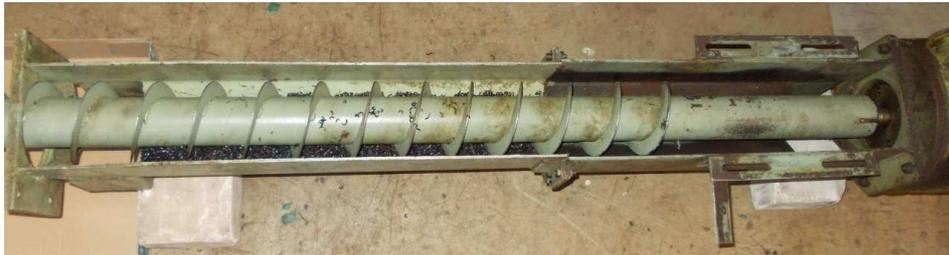


Рис. 3.8. Экспериментальный шнековый конвейер (вид сверху).

Шнековый транспортер приводится в действие от электродвигателя АИР112МВ8 (мощность – 3,0 кВт, число оборотов в минуту – 710 об/мин), который передает крутящий момент на червячный редуктор (рис 3.9) через гибкий вал.

Использование гибкого вала способствует снижению вибрации, устраняет перекос и несоответствие осей электродвигателя с редуктором, и служит соединительной муфтой, которая обеспечивает безопасный режим работы двигателя без заклинивания. Используемый червячный редуктор имеет передаточное число 60, что позволяет использовать маломощный электродвигатель.



Рис. 3.9. Элемент привода шнекового конвейера – червячный редуктор.

Также, благодаря данному червячному редуктору, обеспечивается постоянство числа оборотов шнека – 10-12 об/мин, что является оптимальным числом оборотов винта шнекового конвейера. В целом общая конструкция экспериментального шнекового конвейера состоит из:

- электродвигателя;
- редуктора;
- желоба, прикрепленного к редуктору;
- шнекового вала (шнек), установленного в желобе и соединенном с редуктором.

В качестве транспортирующего элемента используется шнековый вал (шнек) модернизированной конструкции. Модернизация шнека заключается в установке и закреплении на самом теле пера шнека дополнительных лопастей (рис. 3.10 а, б; 3.11).

Дополнительная лопасть изготовлена из алюминиевого уголка 20х20х3, порезанного на равные части длиной 20 мм; одна сторона имеет закругление для беспрепятственного регулирования угла атаки лопасти.

Модернизация шнека осуществлялась в последовательности, описанной ниже. В каждом пере шнека просверливалось одно отверстие для установки в него болта, фиксирующего дополнительную лопасть. После, положение лопасти фиксировалось с помощью гайки и контргайки. Проводился эксперимент с одной дополнительной лопастью, установленной на теле пера шнека с определенным углом атаки.



а)



б)

Рис. 3.10. Дополнительная лопасть шнекового конвейера:

а – одна, б – всестороннее изображение.



Рис. 3.11. Дополнительная лопасть шнекового конвейера (комплект).

В дальнейшем, раскрепляя гайки и контргайки, менялся угол атаки лопасти для проведения нового эксперимента. После того, как был проведен ряд экспериментов с одной дополнительной лопастью на теле пера шнека установленной с различными углами атаки, шнек удалялся из желоба для засверливания второго отверстия на каждом пере шнека с целью установления и закрепления второго ряда дополнительных лопастей. Повторяется процедура проведения эксперимента. Вновь удаляется шнек из желоба для установления трех (рис. 3.12 а, б, в) и в последующем четырех дополнительных лопастей.

В качестве транспортируемого материала используется подготовленная заранее стальная стружка (Сталь 40Х, предварительно дробленая),

полученная в результате лезвийной обработки (точение) ступицы колеса, что свидетельствует о соответствии испытуемой стружке практической реальной стружке. Для проведения эксперимента использовалось 30 кг стружки, полученной при точении ступицы колес. Процесс транспортирования осуществляется в последующем порядке:

- устанавливается дополнительная лопасть на шнек;
- выставляется заданный угол атаки лопасти;
- загружается стружка в желоб;
- проводится процесс транспортирования стружки;
- взвешивается перетранспортированный объем стружки;
- перетранспортированный объем стружки восполняется из 30 кг заранее подготовленной;
- эксперимент повторяется 10 раз.

Изменение угла атаки и количества дополнительных лопастей сопровождается повторением эксперимента в описанной последовательности.

В качестве измерительной аппаратуры используем весы аналитические АДВ 200. Точность измерения данного контрольно – измерительного прибора составляет 2 г. Минимально допустимый вес взвешиваемого материала составляет 20 г, максимальный – 200 г. Для избежания возможных погрешностей, связанных с недостаточным или избыточным весом материала, используем набор гирек.

Для проведения эксперимента по определению энергоемкости шнекового конвейера с дополнительными лопастями использовался счетчик электрический трехфазный электронный НИК 2303 АРК1(5-10А). через счетчик подключался двигатель конвейера. Сначала замерялся расход электроэнергии при использовании классического шнека, а после при модернизированных вариациях шнека с различными степенями наполнения желоба.



а)



б)



в)



г)

Рис. 3.12. Экспериментальный винт шнекового конвейера:

а – классическое исполнение (без лопастей)

б, в, г – с установленными тремя дополнительными лопастями

### 3.3 Результаты эксперимента

Проведения эксперимента проходило в несколько этапов. На первом этапе были проведены замеры результатов транспортирования стружки при различных загрузках желоба (20%, 25%, 30% и 35%) шнековым конвейером классической конструкции – без дополнительных лопастей. В последующих экспериментах при тех же условиях использовался модернизированный шнек с дополнительными лопастями, установленными в варьирующемся количестве от 1 до 4 при одновременном варьировании углом атаки лопастей от  $15^\circ$  до  $90^\circ$ . Эксперименты проводились в десятикратном повторении для

определения разноса и достоверности результатов. Данные проведенных экспериментов сведены в таблицы 3.1-3.5.

Таблица 3.1

**Производительность шнекового конвейера классической конструкции**

Выход стружки, г (БЕЗ ЛОПАСТЕЙ)											
Загрузка желоба стружкой, г	№ эксперимента										Среднее значение, г
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1300	15	19	21	17	17	16	21	17	19	15	17,7
1625	54	50	52	52	54	50	55	52	52	50	52,1
1950	110	105	104	108	108	118	110	105	112	110	109
2275	300	310	300	320	310	312	320	314	304	320	311

На основании табличных данных были построены графики (рис. 3.13-3.57), отображающие зависимость производительности от количества и угла атаки дополнительных лопастей, наполняемости желоба. На вышеуказанных графиках отображается разброс значений проведенных экспериментов при каждом определенном условии в количестве 10 раз. Соответственно графики построены для 1-4 установленных дополнительных лопастей и для 15-90° углов атаки. На графиках прослеживается незначительная количественная разница производительности при наполняемости 30% и 35%. Количественная разница производительности также не существенна при углах атаки 30° и 60°. Также графики отображают разброс значений, привязанных к наполняемости желоба и варьируемых в диапазоне от 20% до 35% или 1300-2275 гг соответственно.

**Производительность шнекового конвейера с установленной одной  
дополнительной лопастью**

<b>Выход стружки, г (УГОЛ ЛОПАСТЕЙ=15)</b>											
<b>Загрузка желоба стружкой, г</b>	<b>№ эксперимента</b>										<b>Среднее значение, г</b>
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	
1300	18	20	18	18	21	20	18	20	18	18	18,9
1625	56	52	54	50	56	54	58	60	52	54	54,6
1950	112	110	114	110	110	108	112	114	112	110	111,2
2275	318	312	316	314	314	320	316	318	312	316	315,6
<b>Выход стружки, г (УГОЛ ЛОПАСТЕЙ=30)</b>											
<b>Загрузка желоба стружкой, г</b>	<b>№ эксперимента</b>										<b>Среднее значение, г</b>
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	
1300	20	22	22	20	18	20	21	18	18	20	19,9
1625	56	58	58	56	56	58	58	56	58	54	56,8
1950	114	112	115	112	112	114	112	118	114	116	113,9
2275	314	322	320	316	320	322	324	320	322	316	319,6
<b>Выход стружки, г (УГОЛ ЛОПАСТЕЙ=45)</b>											
<b>Загрузка желоба стружкой, г</b>	<b>№ эксперимента</b>										<b>Среднее значение, г</b>
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	
1300	24	19	22	21	22	18	22	23	22	19	21,2
1625	56	60	55	60	56	58	60	62	60	54	58,1
1950	118	112	120	118	114	114	120	116	118	114	116,4
2275	326	322	322	328	324	324	322	324	326	320	323,8
<b>Выход стружки, г (УГОЛ ЛОПАСТЕЙ=60)</b>											
<b>Загрузка желоба стружкой, г</b>	<b>№ эксперимента</b>										<b>Среднее значение, г</b>
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	
1300	22	21	20	20	22	21	18	18	20	20	20,2
1625	52	56	58	58	60	62	60	54	58	56	57,4
1950	114	120	111	120	107	112	115	121	114	110	114,4
2275	328	320	318	318	322	324	326	324	320	318	321,8
<b>Выход стружки, г (УГОЛ ЛОПАСТЕЙ=75)</b>											
<b>Загрузка желоба стружкой, г</b>	<b>№ эксперимента</b>										<b>Среднее значение, г</b>
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	
1300	21	18	18	20	21	16	22	22	20	20	19,8
1625	52	54	56	56	60	58	58	60	58	56	56,8
1950	116	114	116	110	118	116	112	114	116	110	114,2
2275	320	320	316	318	318	322	324	314	316	318	318,6
<b>Выход стружки, г (УГОЛ ЛОПАСТЕЙ=90)</b>											
<b>Загрузка желоба стружкой, г</b>	<b>№ эксперимента</b>										<b>Среднее значение, г</b>
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	
1300	18	22	20	18	16	20	18	16	17	18	18,3
1625	56	50	52	56	54	52	58	52	54	52	53,6
1950	108	112	114	108	112	110	110	108	112	114	110,8
2275	314	318	310	312	316	318	312	316	318	315	314,9

**Производительность шнекового конвейера с установленными  
двумя дополнительными лопастями**

<b>Выход стружки, г (УГОЛ ЛОПАСТЕЙ=15)</b>											
<b>Загрузка желоба стружкой, г</b>	<b>№ эксперимента</b>										<b>Среднее значение, г</b>
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	
1300	28	30	30	28	32	26	28	31	30	28	29,1
1625	80	76	82	80	78	78	76	84	75	80	78,9
1950	210	205	208	212	206	204	208	212	210	208	208,3
2275	350	355	348	360	358	360	362	354	355	362	356,4
<b>Выход стружки, г (УГОЛ ЛОПАСТЕЙ=30)</b>											
<b>Загрузка желоба стружкой, г</b>	<b>№ эксперимента</b>										<b>Среднее значение, г</b>
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	
1300	34	32	36	38	34	32	36	38	36	38	35,4
1625	120	116	118	122	124	124	126	118	120	122	121
1950	258	260	252	262	254	256	260	250	255	258	256,5
2275	372	374	368	372	376	368	366	374	370	370	371
<b>Выход стружки, г (УГОЛ ЛОПАСТЕЙ=45)</b>											
<b>Загрузка желоба стружкой, г</b>	<b>№ эксперимента</b>										<b>Среднее значение, г</b>
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	
1300	42	38	36	42	40	42	42	38	40	42	40,2
1625	130	132	128	134	132	130	134	128	128	134	131
1950	280	282	286	274	278	280	282	274	276	280	279,2
2275	398	402	390	394	390	388	386	394	398	396	393,6
<b>Выход стружки, г (УГОЛ ЛОПАСТЕЙ=60)</b>											
<b>Загрузка желоба стружкой, г</b>	<b>№ эксперимента</b>										<b>Среднее значение, г</b>
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	
1300	36	32	34	34	36	38	34	38	34	34	35
1625	124	126	128	126	122	128	130	122	128	124	125,8
1950	264	268	262	260	268	268	270	266	268	270	266,4
2275	380	384	386	388	388	390	384	386	388	382	385,6
<b>Выход стружки, г (УГОЛ ЛОПАСТЕЙ=75)</b>											
<b>Загрузка желоба стружкой, г</b>	<b>№ эксперимента</b>										<b>Среднее значение, г</b>
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	
1300	26	28	24	24	26	28	24	26	24	28	25,8
1625	108	110	112	108	106	110	104	106	108	104	107,6
1950	232	234	238	230	234	230	230	234	236	230	232,8
2275	346	342	340	348	350	342	346	348	352	348	346,2
<b>Выход стружки, г (УГОЛ ЛОПАСТЕЙ=90)</b>											
<b>Загрузка желоба стружкой, г</b>	<b>№ эксперимента</b>										<b>Среднее значение, г</b>
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	
1300	20	19	18	19	18	20	20	17	21	19	19,1
1625	74	78	76	72	74	78	74	72	76	76	75
1950	164	168	162	168	166	168	162	168	170	160	165,6
2275	326	322	328	330	324	326	328	324	328	320	325,6

**Производительность шнекового конвейера с установленными  
тремя дополнительными лопастями**

<b>Выход стружки, г (УГОЛ ЛОПАСТЕЙ=15)</b>											
<b>Загрузка желоба стружкой, г</b>	<b>№ эксперимента</b>										<b>Среднее значение, г</b>
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	
1300	36	38	36	35	37	38	40	38	36	38	37,2
1625	120	130	120	120	125	120	130	124	130	126	124,5
1950	320	340	320	320	340	320	330	330	325	320	326,5
2275	380	380	390	400	390	400	404	410	388	390	393,2
<b>Выход стружки, г (УГОЛ ЛОПАСТЕЙ=30)</b>											
<b>Загрузка желоба стружкой, г</b>	<b>№ эксперимента</b>										<b>Среднее значение, г</b>
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	
1300	48	48	46	48	46	50	50	48	48	50	48,2
1625	176	180	176	182	180	176	178	180	180	182	179
1950	390	400	410	400	395	400	410	400	390	400	399,5
2275	408	420	420	412	420	428	430	420	420	426	420,4
<b>Выход стружки, г (УГОЛ ЛОПАСТЕЙ=45)</b>											
<b>Загрузка желоба стружкой, г</b>	<b>№ эксперимента</b>										<b>Среднее значение, г</b>
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	
1300	57	59	59	61	59	57	59	59	57	58	58,5
1625	200	210	200	195	200	198	210	200	195	200	200,8
1950	430	440	440	450	440	450	430	435	430	440	438,5
2275	470	460	470	468	462	478	470	465	470	472	468,5
<b>Выход стружки, г (УГОЛ ЛОПАСТЕЙ=60)</b>											
<b>Загрузка желоба стружкой, г</b>	<b>№ эксперимента</b>										<b>Среднее значение, г</b>
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	
1300	48	52	48	50	48	48	50	46	48	50	48,8
1625	190	192	190	195	192	200	196	194	195	190	193,4
1950	410	420	415	420	418	416	410	412	420	416	415,7
2275	440	454	442	444	450	440	442	440	450	450	445,2
<b>Выход стружки, г (УГОЛ ЛОПАСТЕЙ=75)</b>											
<b>Загрузка желоба стружкой, г</b>	<b>№ эксперимента</b>										<b>Среднее значение, г</b>
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	
1300	30	32	30	32	30	30	34	30	32	30	31
1625	156	160	155	160	162	158	160	162	156	160	158,9
1950	360	345	340	350	360	360	340	340	345	355	349,5
2275	380	374	375	376	374	380	375	374	376	374	375,8
<b>Выход стружки, г (УГОЛ ЛОПАСТЕЙ=90)</b>											
<b>Загрузка желоба стружкой, г</b>	<b>№ эксперимента</b>										<b>Среднее значение, г</b>
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	
1300	21	19	17	19	19	20	21	17	19	21	19,3
1625	100	100	95	95	100	98	96	95	96	100	97,5
1950	220	200	212	228	215	218	225	220	224	215	217,7
2275	340	335	335	340	334	332	334	334	340	338	336,2

**Производительность шнекового конвейера с установленными  
четырьмя дополнительными лопастями**

<b>Выход стружки, г (УГОЛ ЛОПАСТЕЙ=15)</b>											
<b>Загрузка желоба стружкой, г</b>	<b>№ эксперимента</b>										<b>Среднее значение, г</b>
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	
1300	26	28	28	30	28	26	28	30	32	28	28,4
1625	74	72	76	70	74	73	72	76	80	72	73,9
1950	198	202	204	198	196	202	200	198	202	196	199,6
2275	330	335	332	340	340	334	336	334	338	334	335,3
<b>Выход стружки, г (УГОЛ ЛОПАСТЕЙ=30)</b>											
<b>Загрузка желоба стружкой, г</b>	<b>№ эксперимента</b>										<b>Среднее значение, г</b>
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	
1300	30	32	30	28	34	26	34	32	30	28	30,4
1625	116	116	114	120	112	118	114	120	122	118	117
1950	244	242	242	240	236	242	244	238	244	238	241
2275	360	358	354	362	360	358	352	356	362	354	357,6
<b>Выход стружки, г (УГОЛ ЛОПАСТЕЙ=45)</b>											
<b>Загрузка желоба стружкой, г</b>	<b>№ эксперимента</b>										<b>Среднее значение, г</b>
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	
1300	36	38	36	38	40	40	36	34	36	38	37,2
1625	124	126	128	122	128	124	124	126	124	128	125,4
1950	260	264	262	258	254	256	262	264	260	258	259,8
2275	388	382	386	384	384	386	382	384	388	386	385
<b>Выход стружки, г (УГОЛ ЛОПАСТЕЙ=60)</b>											
<b>Загрузка желоба стружкой, г</b>	<b>№ эксперимента</b>										<b>Среднее значение, г</b>
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	
1300	34	32	34	30	32	30	34	36	34	36	33,2
1625	120	118	122	120	116	118	122	124	118	120	119,8
1950	260	254	252	256	250	250	254	252	258	252	253,8
2275	370	372	372	374	372	370	368	368	370	372	370,8
<b>Выход стружки, г (УГОЛ ЛОПАСТЕЙ=75)</b>											
<b>Загрузка желоба стружкой, г</b>	<b>№ эксперимента</b>										<b>Среднее значение, г</b>
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	
1300	24	22	24	21	20	26	24	24	22	26	23,3
1625	102	104	102	100	102	104	106	104	102	108	103,4
1950	222	224	220	218	224	220	216	220	224	220	220,8
2275	338	340	336	340	342	336	338	334	340	334	337,8
<b>Выход стружки, г (УГОЛ ЛОПАСТЕЙ=90)</b>											
<b>Загрузка желоба стружкой, г</b>	<b>№ эксперимента</b>										<b>Среднее значение, г</b>
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	
1300	18	19	20	19	19	20	20	17	19	18	18,9
1625	70	68	64	62	70	66	64	70	62	64	66
1950	160	158	156	158	156	156	158	160	152	154	156,8
2275	310	312	314	314	316	310	318	318	316	312	314

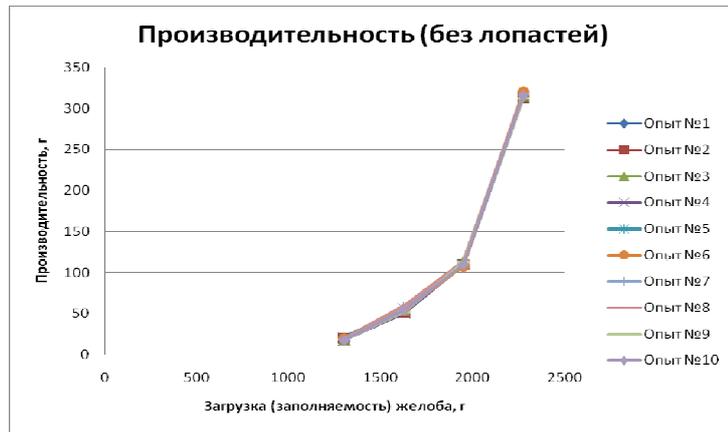


Рис. 3.13. Изменения производительности шнекового конвейера классической конструкции при увеличении наполняемости желоба (базовые опыты).



Рис. 3.14. Изменения производительности модернизированного шнекового конвейера при увеличении наполняемости желоба (кол-во дополнительных лопастей – 1, угол атаки дополнительных лопастей – 15°).



Рис. 3.15. Изменения производительности модернизированного шнекового конвейера при увеличении наполняемости желоба (кол-во дополнительных лопастей – 1, угол атаки дополнительных лопастей – 30°).

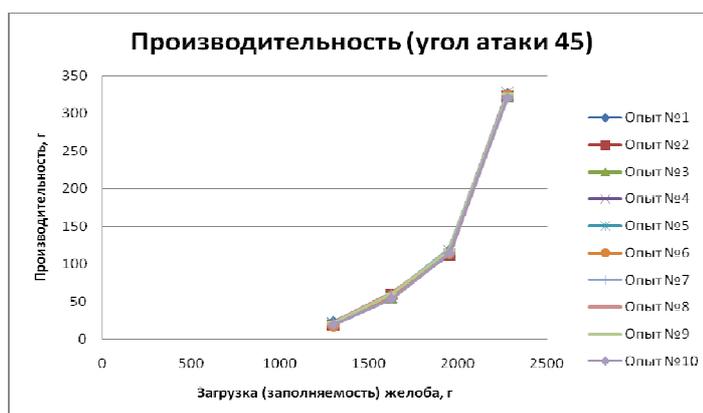


Рис. 3.16. Изменения производительности модернизированного шнекового конвейера при увеличении наполняемости желоба (кол-во дополнительных лопастей – 1, угол атаки дополнительных лопастей – 45°).



Рис. 3.17. Изменения производительности модернизированного шнекового конвейера при увеличении наполняемости желоба (кол-во дополнительных лопастей – 1, угол атаки дополнительных лопастей – 60°).



Рис. 3.18. Изменения производительности модернизированного шнекового конвейера при увеличении наполняемости желоба (кол-во дополнительных лопастей – 1, угол атаки дополнительных лопастей – 75°).



Рис. 3.19. Изменения производительности модернизированного шнекового конвейера при увеличении наполняемости желоба (кол-во дополнительных лопастей – 1, угол атаки дополнительных лопастей – 90°).

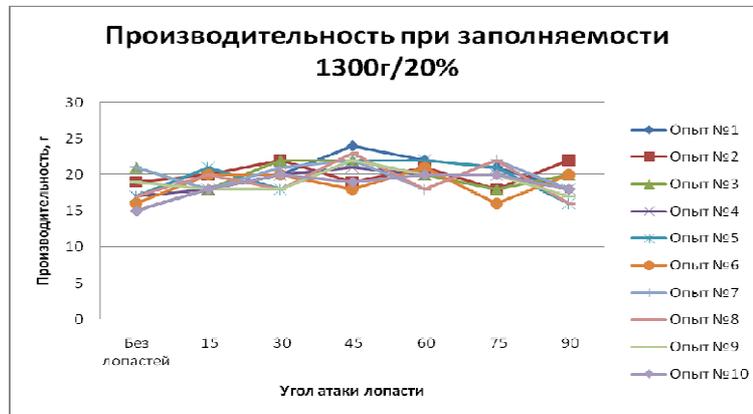


Рис. 3.20. Изменения производительности модернизированного шнекового конвейера при увеличении угла атаки дополнительных лопастей (кол-во дополнительных лопастей – 1, наполняемость желоба – 1300г/20%).

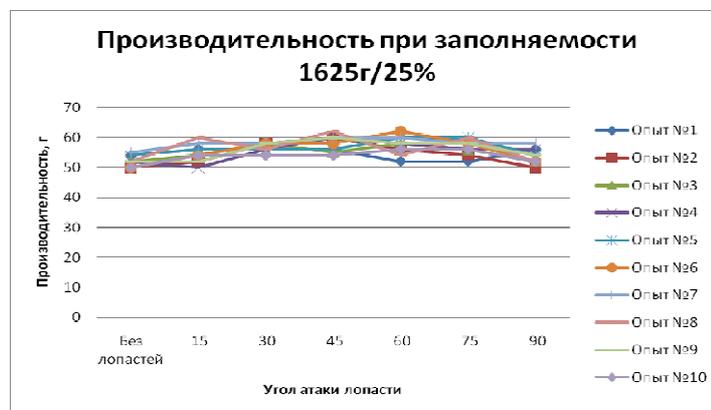


Рис. 3.21. Изменения производительности модернизированного шнекового конвейера при увеличении угла атаки дополнительных лопастей (кол-во дополнительных лопастей – 1, наполняемость желоба – 1625г/25%).

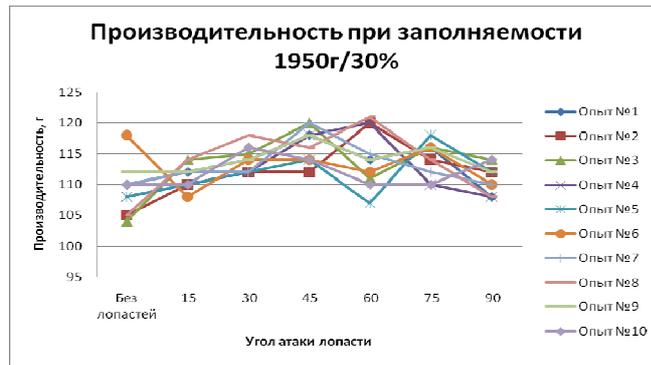


Рис. 3.22. Изменения производительности модернизированного шнекового конвейера при увеличении угла атаки дополнительных лопастей (кол-во дополнительных лопастей – 1, наполняемость желоба – 1950г/30%).

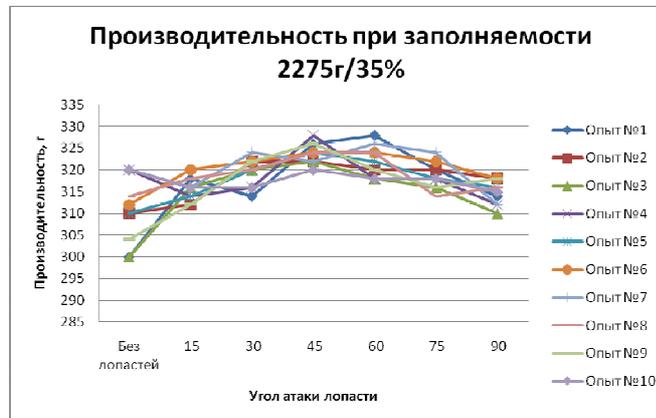


Рис. 3.23. Изменения производительности модернизированного шнекового конвейера при увеличении угла атаки дополнительных лопастей (кол-во дополнительных лопастей – 1, наполняемость желоба – 2275г/35%).

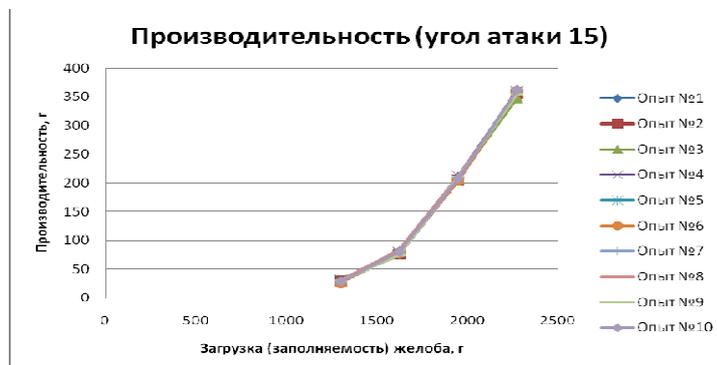


Рис. 3.24. Изменения производительности модернизированного шнекового конвейера при увеличении наполняемости желоба (кол-во дополнительных лопастей – 2, угол атаки дополнительных лопастей – 15°).

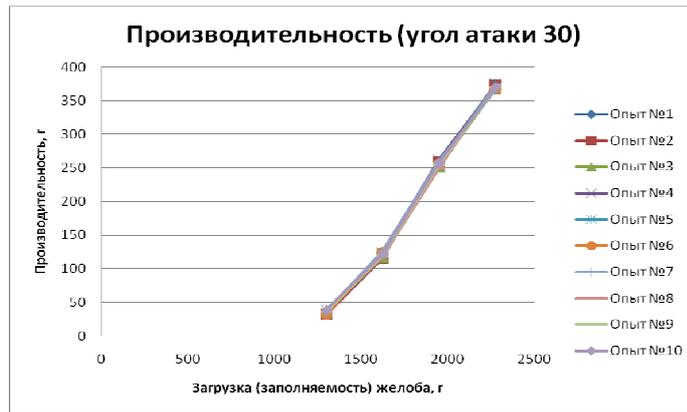


Рис. 3.25. Изменения производительности модернизированного шнекового конвейера при увеличении наполняемости желоба (кол-во дополнительных лопастей – 2, угол атаки дополнительных лопастей – 30°).

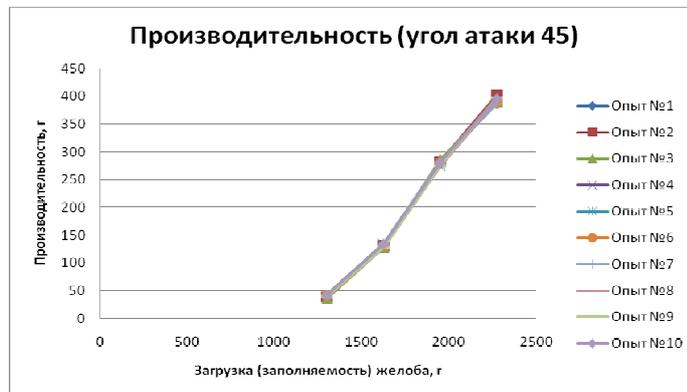


Рис. 3.26. Изменения производительности модернизированного шнекового конвейера при увеличении наполняемости желоба (кол-во дополнительных лопастей – 2, угол атаки дополнительных лопастей – 45°).

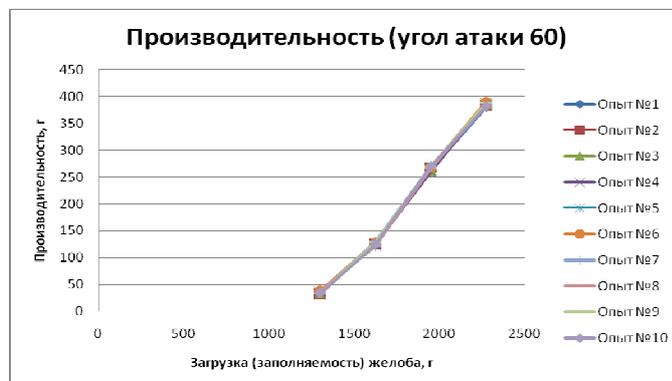


Рис. 3.27. Изменения производительности модернизированного шнекового конвейера при увеличении наполняемости желоба (кол-во дополнительных лопастей – 2, угол атаки дополнительных лопастей – 60°).

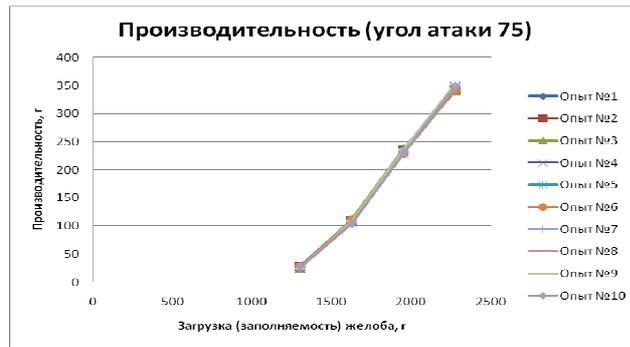


Рис. 3.28. Изменения производительности модернизированного шнекового конвейера при увеличении наполняемости желоба (кол-во дополнительных лопастей – 2, угол атаки дополнительных лопастей –  $75^\circ$ ).

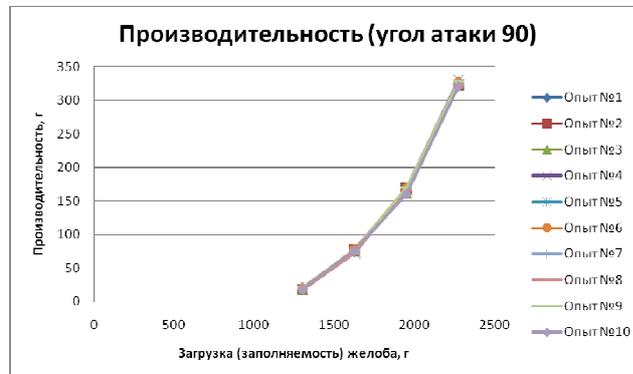


Рис. 3.29. Изменения производительности модернизированного шнекового конвейера при увеличении наполняемости желоба (кол-во дополнительных лопастей – 2, угол атаки дополнительных лопастей –  $90^\circ$ ).

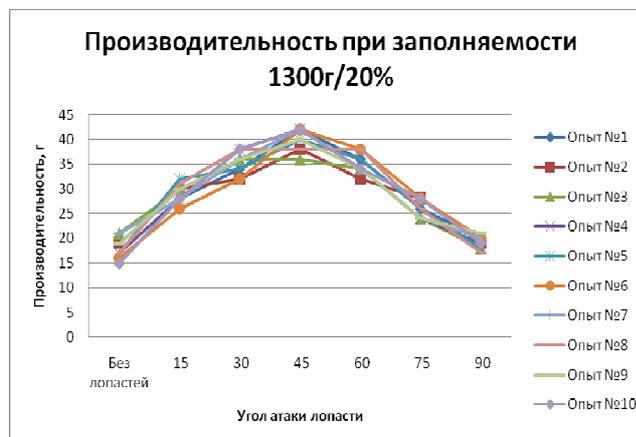


Рис. 3.30. Изменения производительности модернизированного шнекового конвейера при увеличении угла атаки дополнительных лопастей (кол-во дополнительных лопастей – 2, наполняемость желоба – 1300г/20%).

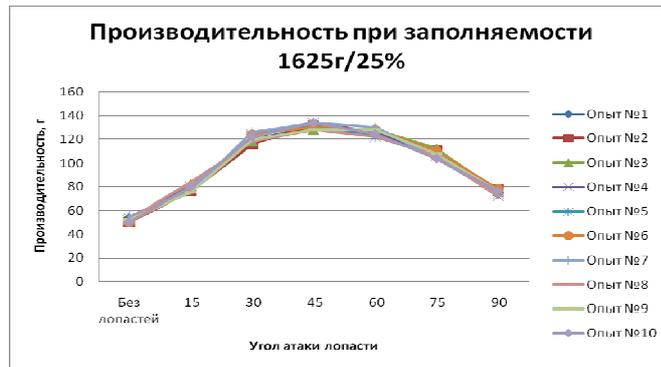


Рис. 3.31. Изменения производительности модернизированного шнекового конвейера при увеличении угла атаки дополнительных лопастей (кол-во дополнительных лопастей – 2, наполняемость желоба – 1625г/25%).

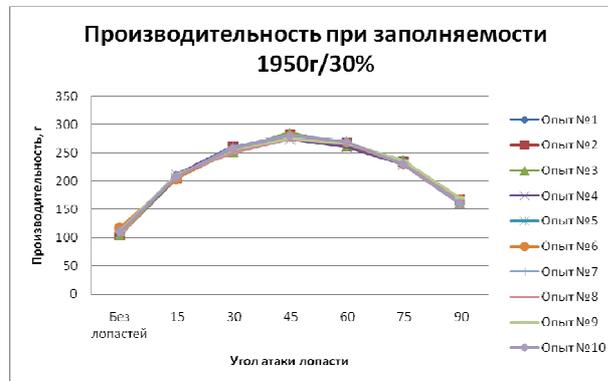


Рис. 3.32. Изменения производительности модернизированного шнекового конвейера при увеличении угла атаки дополнительных лопастей (кол-во дополнительных лопастей – 2, наполняемость желоба – 1950г/30%).

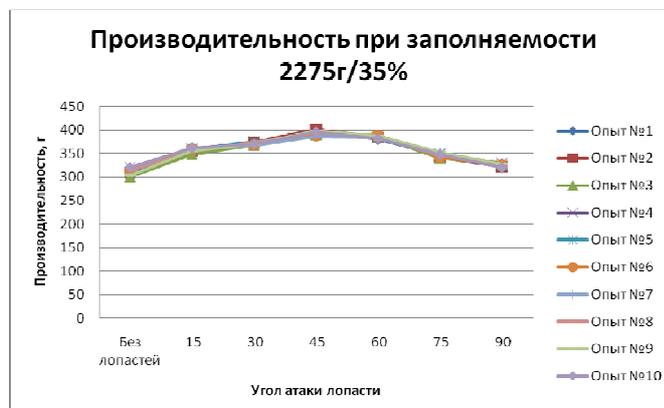


Рис. 3.33. Изменения производительности модернизированного шнекового конвейера при увеличении угла атаки дополнительных лопастей (кол-во дополнительных лопастей – 2, наполняемость желоба – 2275г/35%).

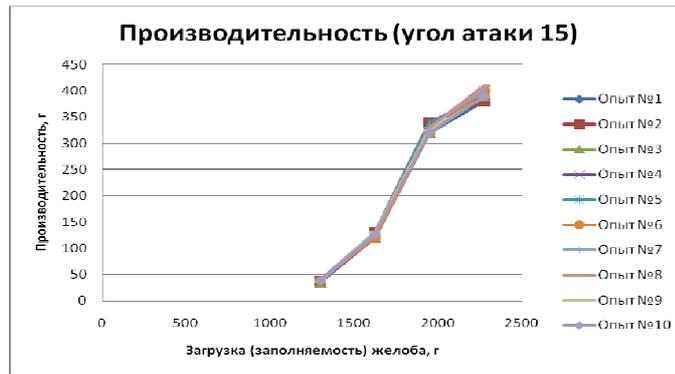


Рис. 3.34. Изменения производительности модернизированного шнекового конвейера при увеличении наполняемости желоба (кол-во дополнительных лопастей – 3, угол атаки дополнительных лопастей – 15°).

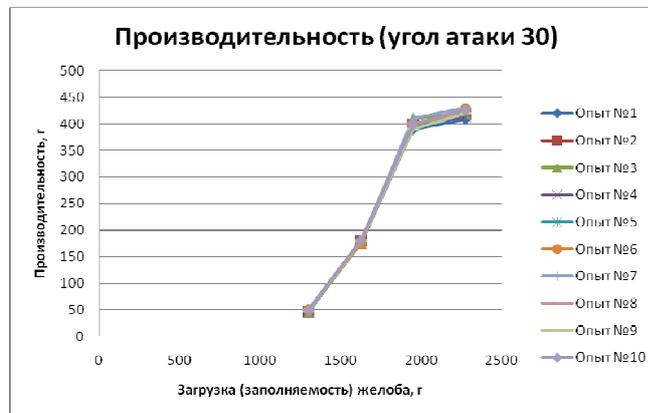


Рис. 3.35. Изменения производительности модернизированного шнекового конвейера при увеличении наполняемости желоба (кол-во дополнительных лопастей – 3, угол атаки дополнительных лопастей – 30°).

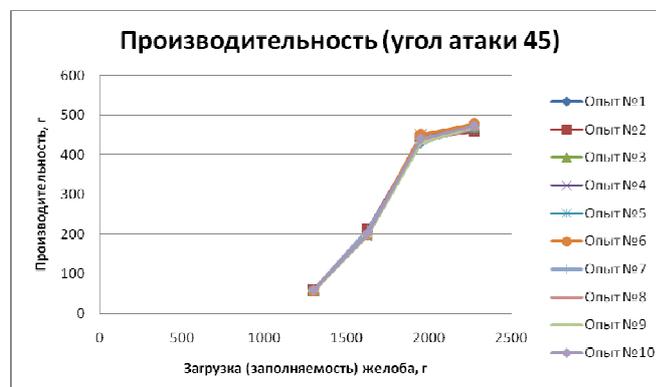


Рис. 3.36. Изменения производительности модернизированного шнекового конвейера при увеличении наполняемости желоба (кол-во дополнительных лопастей – 3, угол атаки дополнительных лопастей – 45°).

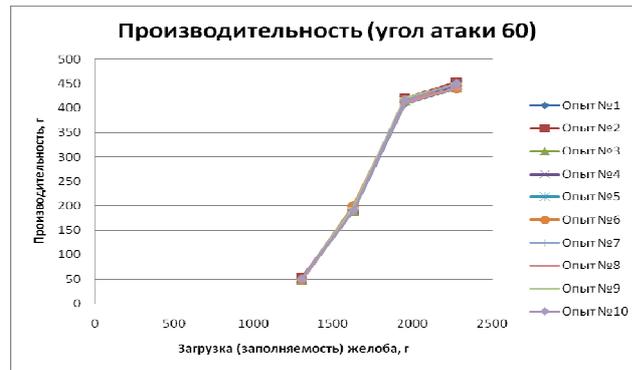


Рис. 3.37. Изменения производительности модернизированного шнекового конвейера при увеличении наполняемости желоба (кол-во дополнительных лопастей – 3, угол атаки дополнительных лопастей – 60°).

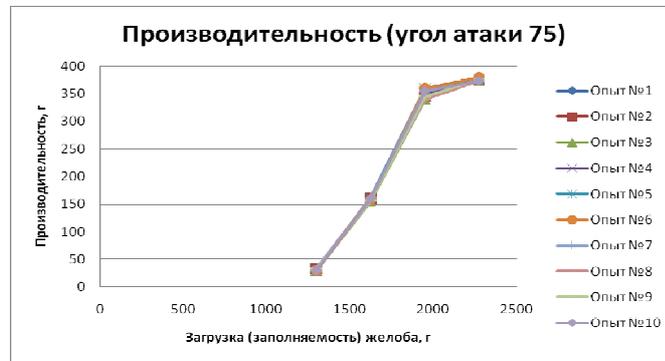


Рис. 3.38. Изменения производительности модернизированного шнекового конвейера при увеличении наполняемости желоба (кол-во дополнительных лопастей – 3, угол атаки дополнительных лопастей – 75°).

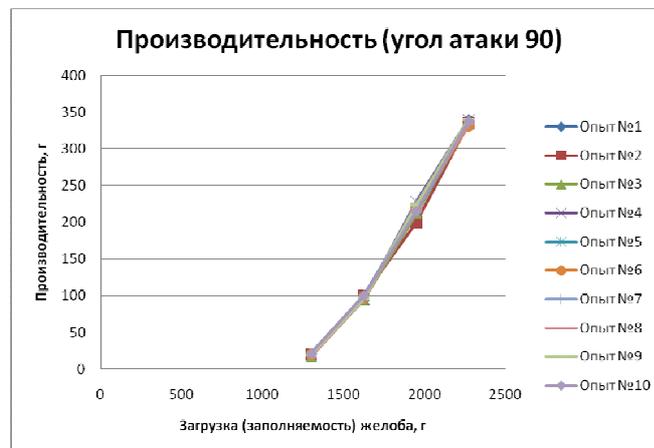


Рис. 3.39. Изменения производительности модернизированного шнекового конвейера при увеличении наполняемости желоба (кол-во дополнительных лопастей – 3, угол атаки дополнительных лопастей – 90°).

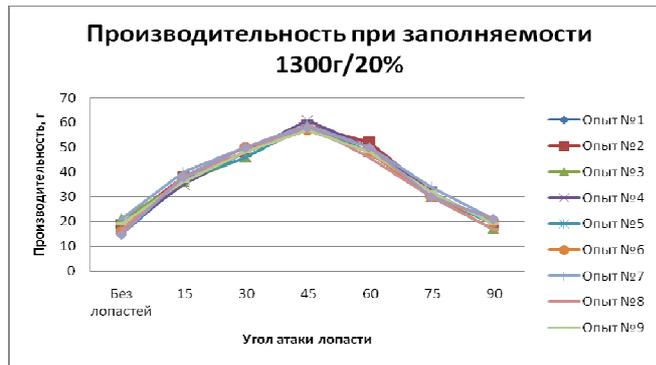


Рис. 3.40. Изменения производительности модернизированного шнекового конвейера при увеличении угла атаки дополнительных лопастей (кол-во дополнительных лопастей – 3, наполняемость желоба – 1300г/20%).

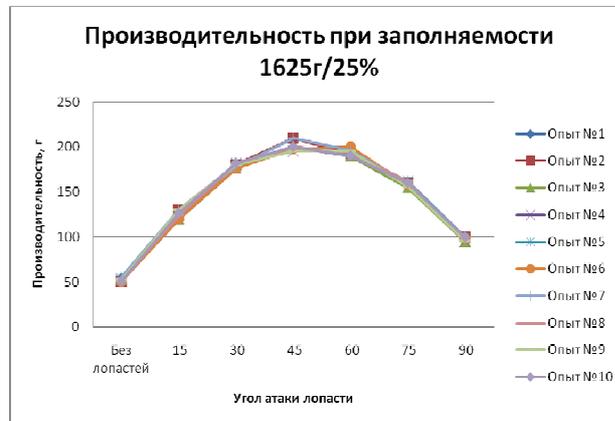


Рис. 3.41. Изменения производительности модернизированного шнекового конвейера при увеличении угла атаки дополнительных лопастей (кол-во дополнительных лопастей – 3, наполняемость желоба – 1625г/25%).

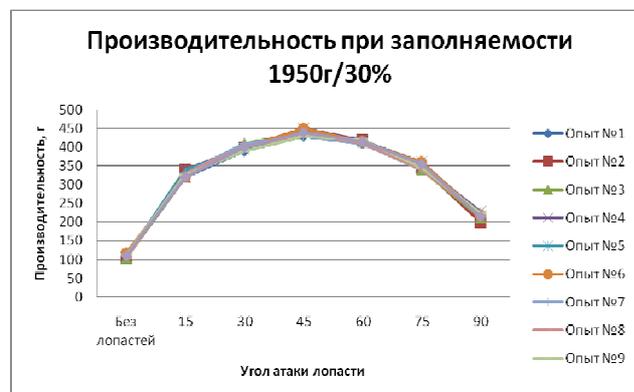


Рис. 3.42. Изменения производительности модернизированного шнекового конвейера при увеличении угла атаки дополнительных лопастей (кол-во дополнительных лопастей – 3, наполняемость желоба – 1950г/30%).

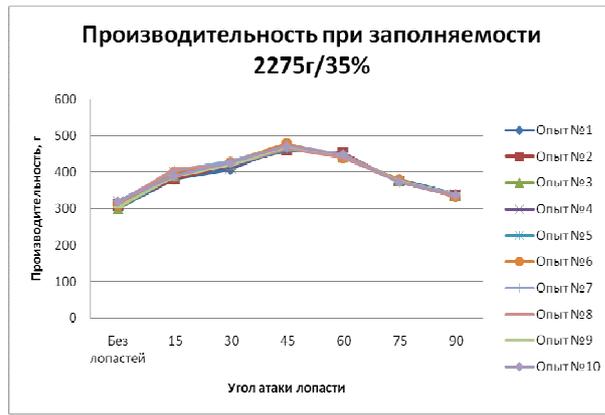


Рис. 3.43. Изменения производительности модернизированного шнекового конвейера при увеличении угла атаки дополнительных лопастей (кол-во дополнительных лопастей – 3, наполняемость желоба – 2275г/35%).

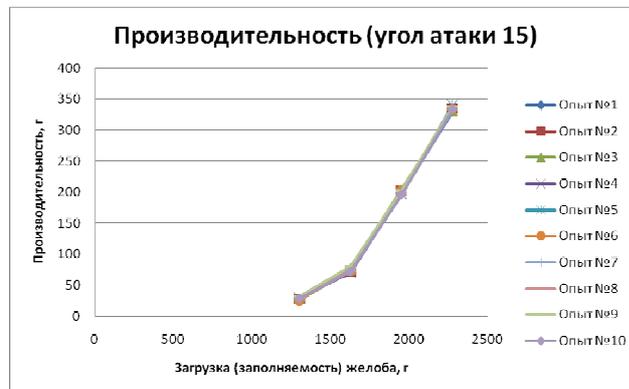


Рис. 3.44. Изменения производительности модернизированного шнекового конвейера при увеличении наполняемости желоба (кол-во дополнительных лопастей – 4, угол атаки дополнительных лопастей – 15°).

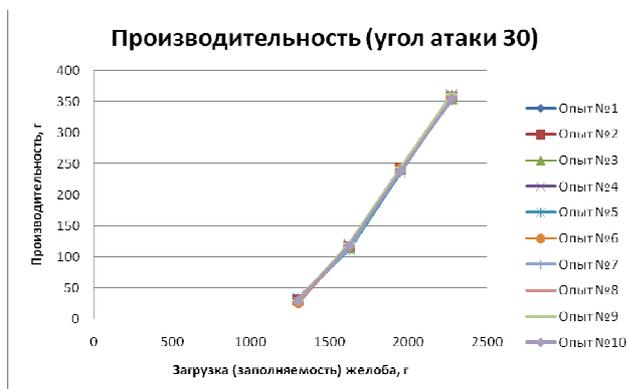


Рис. 3.45. Изменения производительности модернизированного шнекового конвейера при увеличении наполняемости желоба (кол-во дополнительных лопастей – 4, угол атаки дополнительных лопастей – 30°).

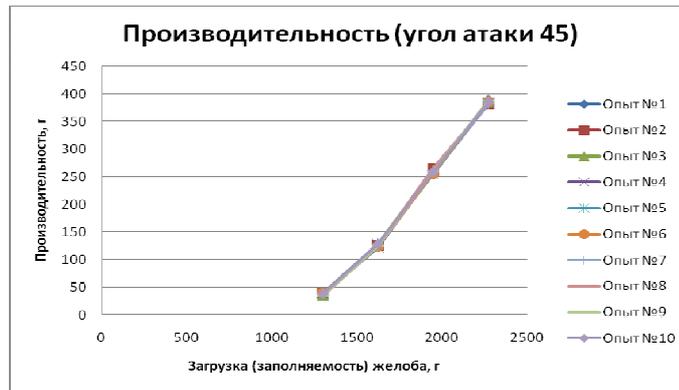


Рис. 3.46. Изменения производительности модернизированного шнекового конвейера при увеличении наполняемости желоба (кол-во дополнительных лопастей – 4, угол атаки дополнительных лопастей – 45°).

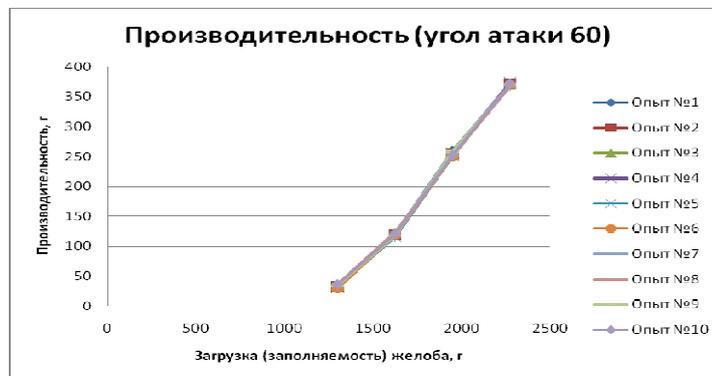


Рис. 3.47. Изменения производительности модернизированного шнекового конвейера при увеличении наполняемости желоба (кол-во дополнительных лопастей – 4, угол атаки дополнительных лопастей – 60°).

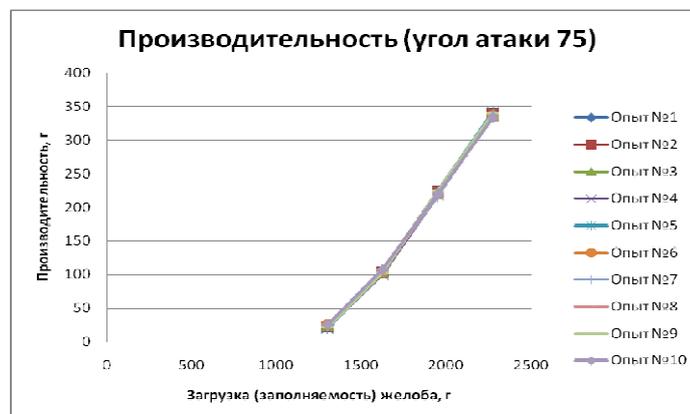


Рис. 3.48. Изменения производительности модернизированного шнекового конвейера при увеличении наполняемости желоба (кол-во дополнительных лопастей – 4, угол атаки дополнительных лопастей – 75°).



Рис. 3.49. Изменения производительности модернизированного шнекового конвейера при увеличении наполняемости желоба (кол-во дополнительных лопастей – 4, угол атаки дополнительных лопастей –  $90^\circ$ ).

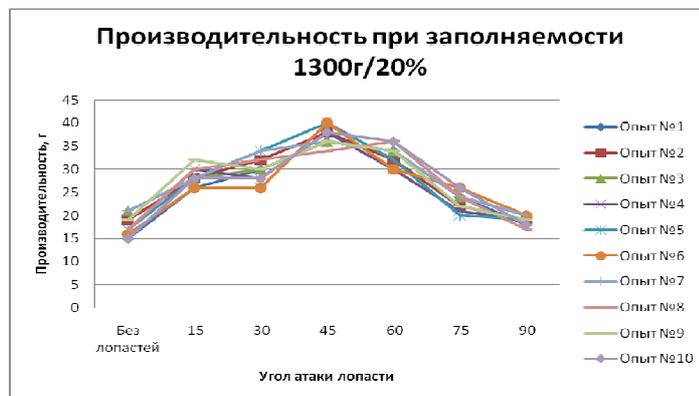


Рис. 3.50. Изменения производительности модернизированного шнекового конвейера при увеличении угла атаки дополнительных лопастей (кол-во дополнительных лопастей – 4, наполняемость желоба – 1300г/20%).

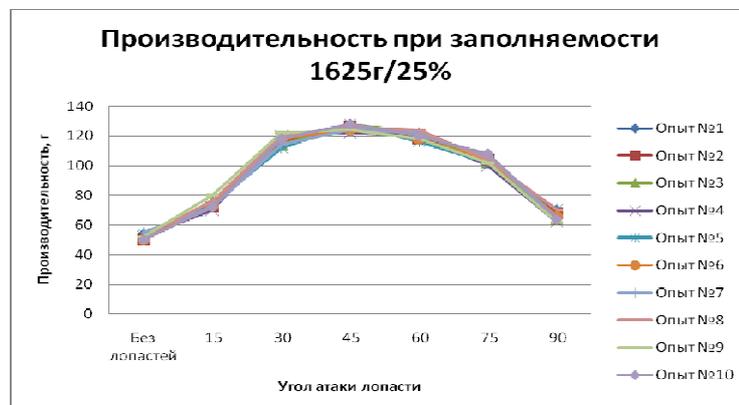


Рис. 3.51. Изменения производительности модернизированного шнекового конвейера при увеличении угла атаки дополнительных лопастей (кол-во дополнительных лопастей – 4, наполняемость желоба – 1625г/25%).

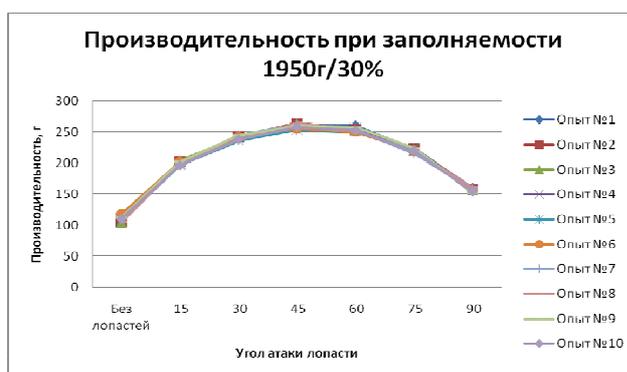


Рис. 3.52. Изменения производительности модернизированного шнекового конвейера при увеличении угла атаки дополнительных лопастей (кол-во дополнительных лопастей – 4, наполняемость желоба – 1950г/30%).



Рис. 3.53. Изменения производительности модернизированного шнекового конвейера при увеличении угла атаки дополнительных лопастей (кол-во дополнительных лопастей – 4, наполняемость желоба – 2275г/35%).

Приведя разброс точек эксперимента к усредненным значениям, построим графики количественного анализа изменения производительности модернизированного шнекового конвейера с установленными дополнительными лопастями на самом теле пера шнека в количестве от 1 до 4 по усредненным значениям экспериментальных данных (рис. 3.54 - 3.57).

На приведенных выше графиках четко прослеживается количественный рост производительности шнекового конвейера с увеличением наполняемости желоба. При количестве дополнительных лопастей равном – 1, прослеживается зависимость роста производительности от увеличения наполняемости желоба, влияние угла атаки дополнительных лопастей – несущественно; прослеживается закономерность преобразования

шнекового конвейера в экструдер, который по своим производительным показателям не имеет существенного отличия от базовой (классической) конструкции шнекового конвейера.

В данном случае присутствие одной дополнительной лопасти не влияет на производительность, а осуществляет процесс смешивания или вспушевания транспортированного материала. При наличии 2-4 дополнительных лопастей наблюдается стремительный рост производительность в диапазоне наполняемости желоба 25-30% и 30-35%.

Для оправдания целесообразности использования дополнительных лопастей в указанном количестве при различной наполняемости желоба необходим всесторонний целостный анализ процесса увеличения производительности модернизированного шнекового конвейера, который должен включать в себя, помимо качественного и количественного анализа производительности, - анализ прироста производительности конвейера.



Рис. 3.54. Изменения производительности модернизированного шнекового конвейера по усредненным значениям экспериментальных данных (количество дополнительных лопастей – 1).

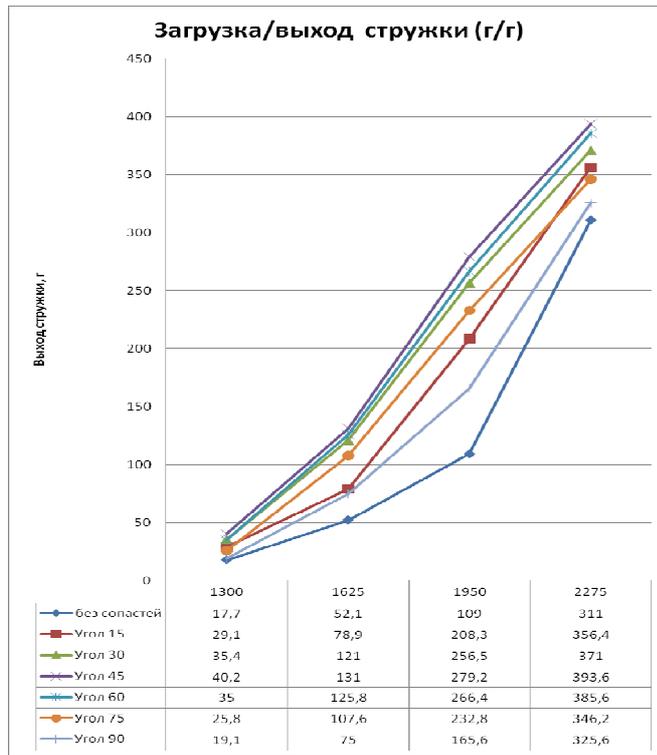


Рис. 3.55. Изменения производительности модернизированного шнекового конвейера по усредненным значениям экспериментальных данных (количество дополнительных лопастей – 2).

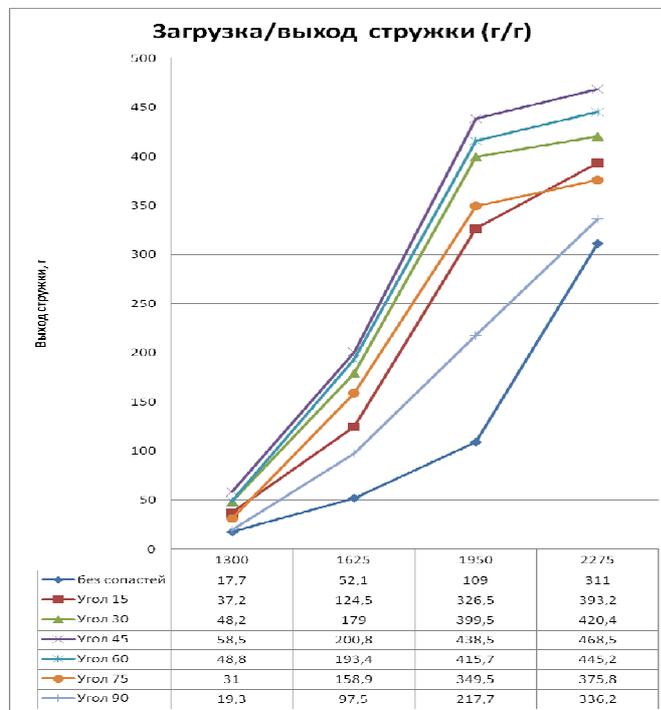


Рис. 3.56. Изменения производительности модернизированного шнекового конвейера по усредненным значениям экспериментальных данных (количество дополнительных лопастей – 3).

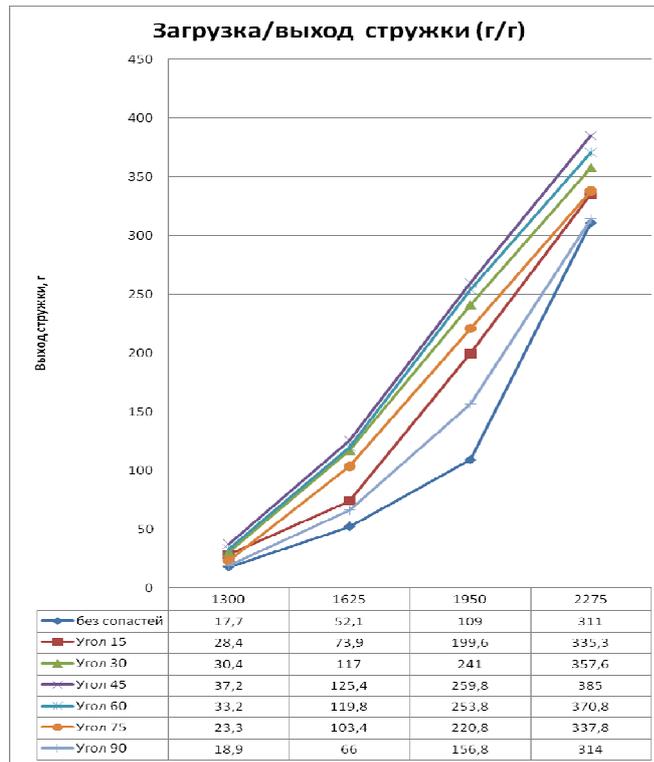


Рис. 3.57. Изменения производительности модернизированного шнекового конвейера по усредненным значениям экспериментальных данных (количество дополнительных лопастей – 4).

Однако для анализа прироста производительности первоначально необходим анализ увеличения производительности - качественный анализ роста производительности. Для проведения качественного анализа роста производительности необходимо сопоставить в процентном соотношении усредненную производительность к загрузке желоба (соотношение перетранспортированной массы опытного материала к загруженной массе). Результаты качественного анализа для шнекового конвейера модернизированной конструкции с установленными дополнительными лопастями, в количестве от 1 до 4, представлены в таблицах 6-9 соответственно, на основании которых были построены графики, отображенные в рис. 3.58 - 3.61.

**Качественные показатели производительности шнекового конвейера с установленными дополнительными лопастями (количество дополнительных лопастей – 1)**

Выход стружки, %				
Угол атаки лопастей	Загрузка желоба, г/%			
	1300/20	1625/25	1950/30	2275/35
Без лопастей	1,4	3,2	5,6	13,7
15	1,5	3,4	5,7	13,9
30	1,5	3,5	5,8	14,0
45	1,6	3,6	6,0	14,2
60	1,6	3,5	5,9	14,1
75	1,5	3,5	5,9	14,0
90	1,4	3,3	5,7	13,8

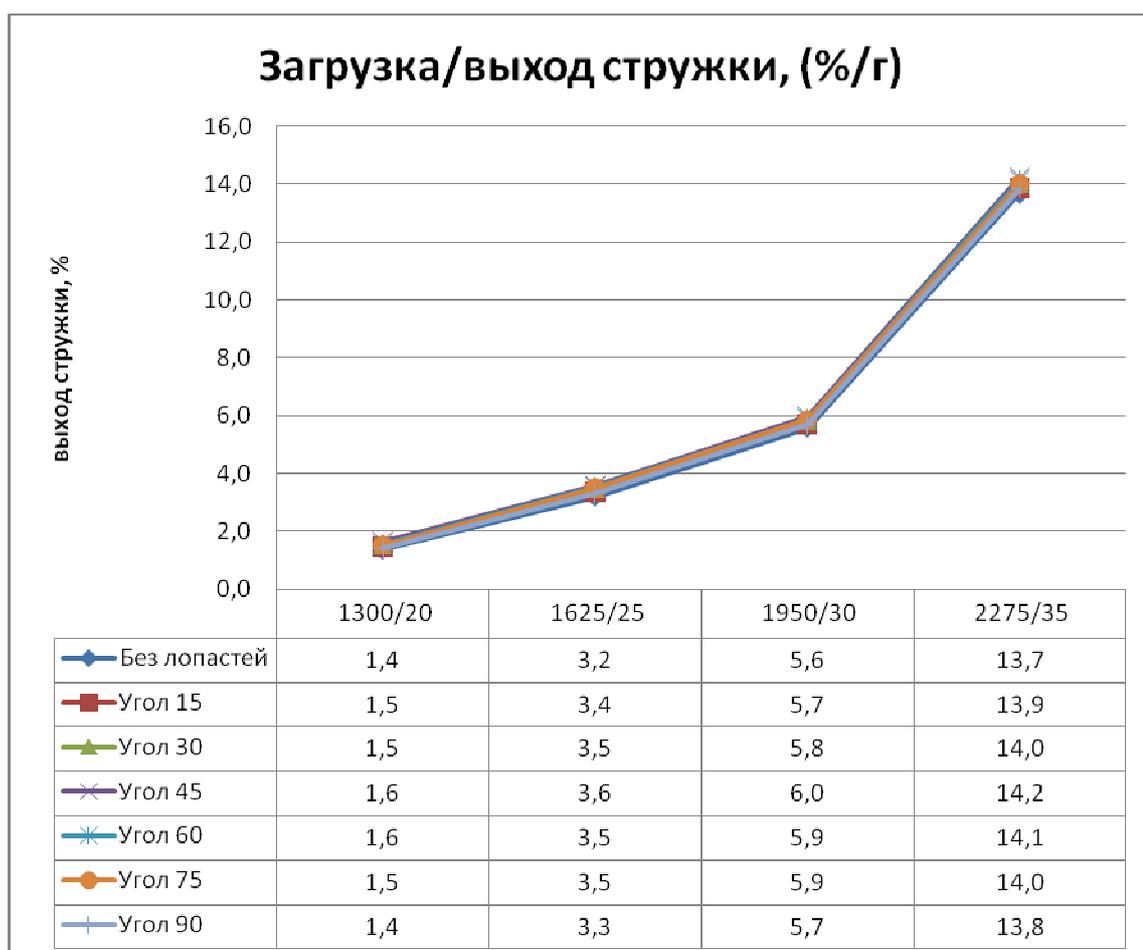


Рис. 3.58. Качественные изменения производительности модернизированного шнекового конвейера по усредненным значениям экспериментальных данных (количество дополнительных лопастей – 1).

**Качественные показатели производительности шнекового конвейера с установленными дополнительными лопастями (количество дополнительных лопастей – 2)**

Выход стружки, %				
Угол атаки лопастей	Загрузка желоба, г/%			
	1300/20	1625/25	1950/30	2275/35
Без лопастей	1,4	3,2	5,6	13,7
15	2,2	4,9	10,7	15,7
30	2,7	7,4	13,2	16,3
45	3,1	8,1	14,3	17,3
60	2,7	7,7	13,7	16,9
75	2,0	6,6	11,9	15,2
90	1,5	4,6	8,5	14,3

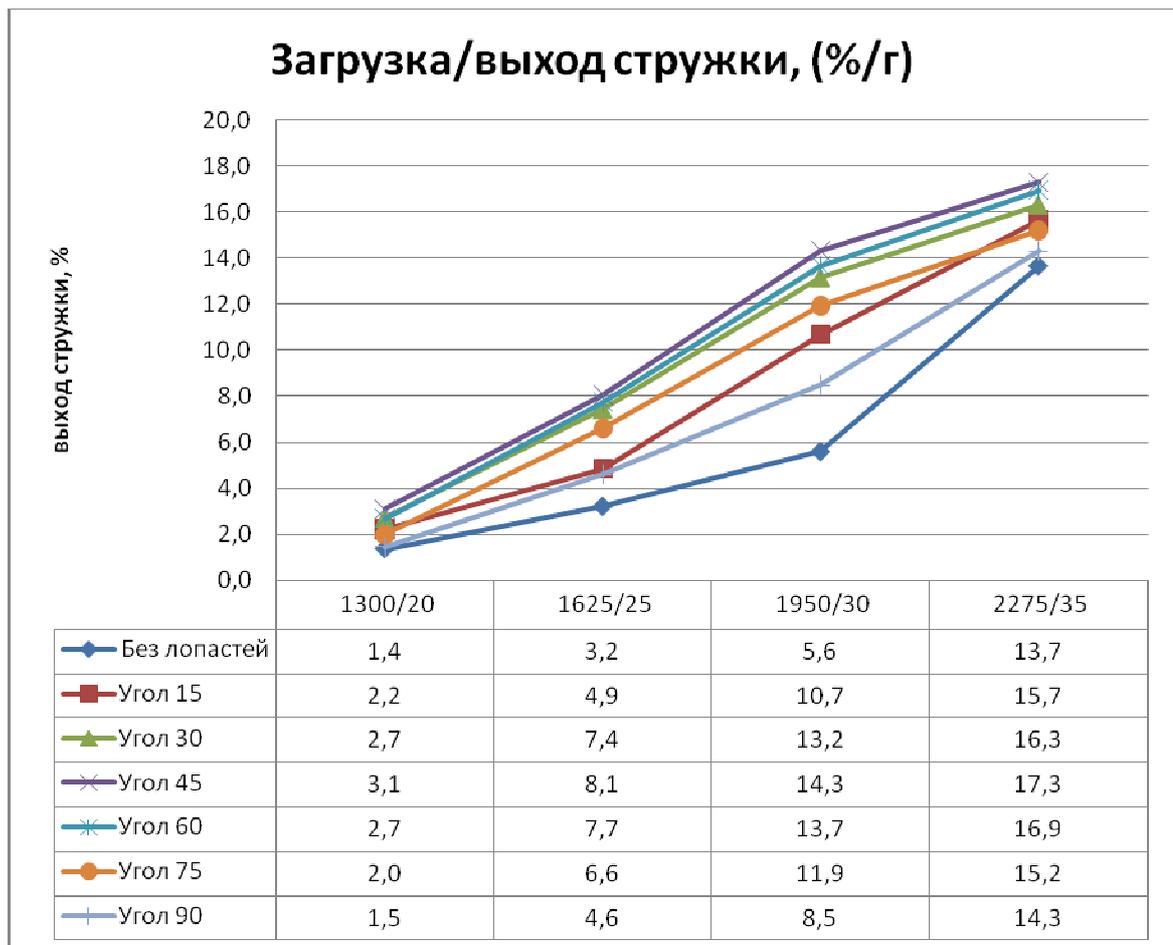


Рис. 3.59. Качественные изменения производительности модернизированного шнекового конвейера по усредненным значениям экспериментальных данных (количество дополнительных лопастей – 2).

**Качественные показатели производительности шнекового конвейера с установленными дополнительными лопастями (количество дополнительных лопастей – 3)**

Выход стружки, %				
Угол атаки лопастей	Загрузка желоба, г/%			
	1300/20	1625/25	1950/30	2275/35
Без лопастей	1,4	3,2	5,6	13,7
15	2,9	7,7	16,7	17,3
30	3,7	11,0	20,5	18,5
45	4,5	12,4	22,5	20,6
60	3,8	11,9	21,3	19,6
75	2,4	9,8	17,9	16,5
90	1,5	6,0	11,2	14,8

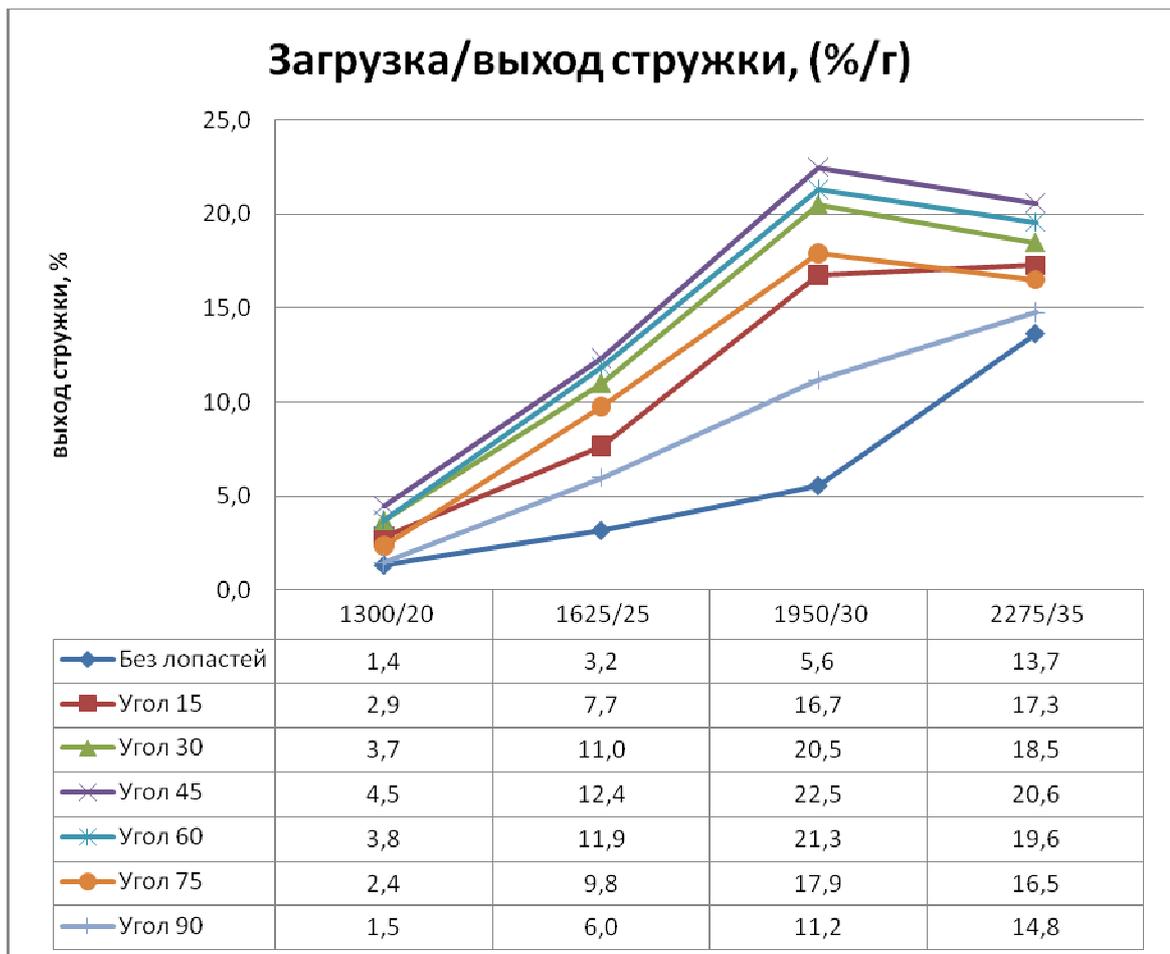


Рис. 3.60. Качественные изменения производительности модернизированного шнекового конвейера по усредненным значениям экспериментальных данных (количество дополнительных лопастей – 3).

**Качественные показатели производительности шнекового конвейера с установленными дополнительными лопастями (количество дополнительных лопастей – 4)**

Выход стружки, %				
Угол атаки лопастей	Загрузка желоба, г/%			
	1300/20	1625/25	1950/30	2275/35
Без лопастей	1,4	3,2	5,6	13,7
15	2,2	4,5	10,2	14,7
30	2,3	7,2	12,4	15,7
45	2,9	7,7	13,3	16,9
60	2,6	7,4	13,0	16,3
75	1,8	6,4	11,3	14,8
90	1,5	4,1	8,0	13,8

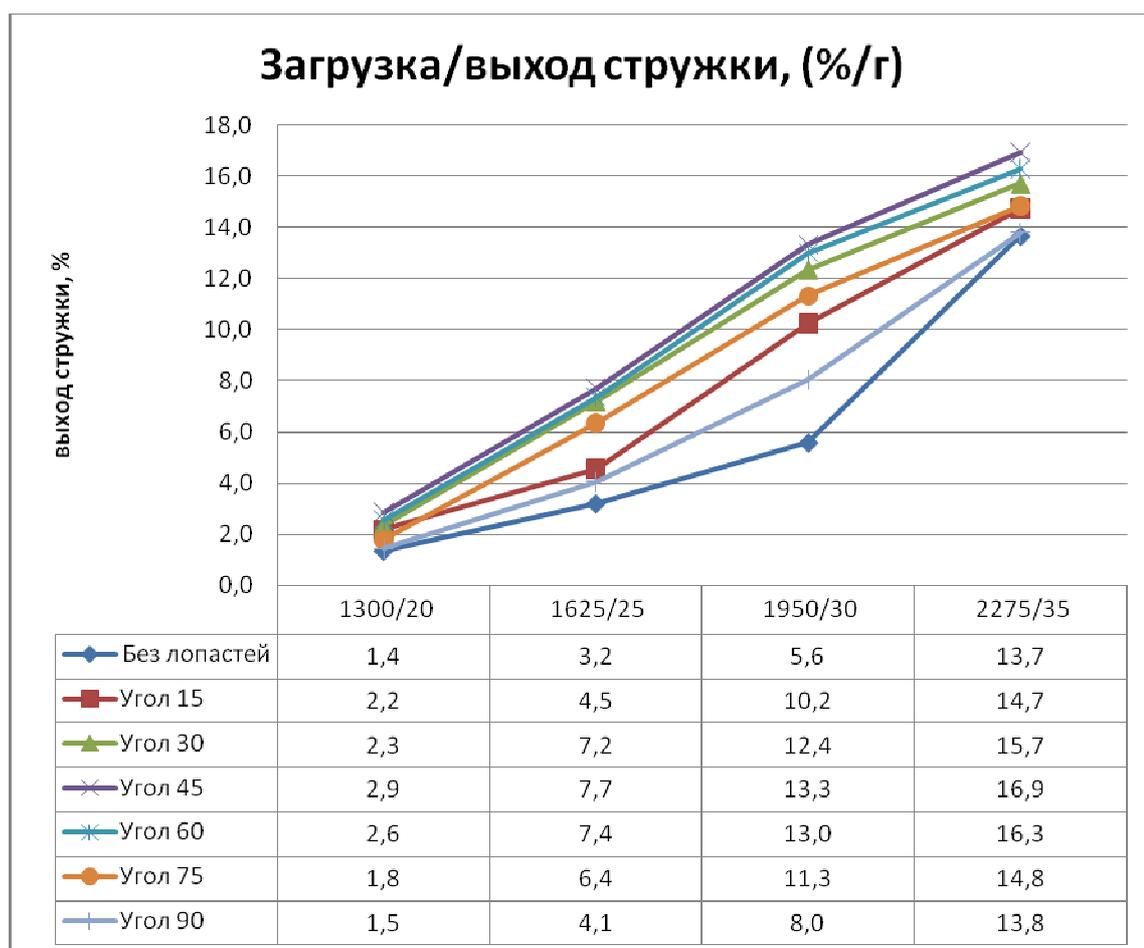


Рис. 3.61. Качественные изменения производительности модернизированного шнекового конвейера по усредненным значениям экспериментальных данных (количество дополнительных лопастей – 4).

Исходя из графиков, четко прослеживается повышенная производительность при угле атаки лопастей равной  $30^\circ$ ,  $45^\circ$  и  $60^\circ$ ; также повышение производительности наблюдается при наполняемости желоба в пределах 20-30% при установленных 2-4 дополнительных лопастях. Вышесказанное требует качественного анализа производительности при тех же условиях. Качественный анализ процесса транспортирования стружки модернизированным конвейером дополнительно подтвердил увеличение производительности, в зависимости от количества и угла атаки дополнительных лопастей, а также привязанность к наполняемости желоба. Однако, если следовать графической зависимости изменения производительности, то следует, что необходимым и достаточным условием увеличения производительности является линейное увеличение наполняемости желоба. Тем не менее, полнота картины исследования процесса транспортирования модернизированным шнековым конвейером не в коем случае не может считаться полной и иметь окончательный вердикт без проведения анализа прироста производительности, как в количественном, так и качественном проявлении. Количественным анализом прироста производительности считаем разницу между соответствующими средне арифметическими данными производительности модернизированного конвейера и конвейера, выполненного в классической конструкции. Качественный же анализ рассматриваем как процентное соотношении изменения увеличения производительности модернизированного шнекового конвейера и соответствующего параметра у шнекового конвейера классического исполнения.

Результаты расчетов количественных показателей прироста производительности приводятся в таблицах 10-14, на основании которых были построены графики количественного и качественного прироста производительности модернизированного шнекового конвейера. Графики представлены на рисунках 3.62 - 3.65.

**Количественные показатели прироста производительности  
шнекового конвейера с установленными дополнительными лопастями**

**(количество дополнительных лопастей – 1)**

Прирост выхода стружки, г				
Угол атаки лопастей	Загрузка желоба, г/г			
	1300/20	1625/25	1950/30	2275/35
Без лопастей	0	0	0	0
15	1,2	2,5	2,2	4,6
30	2,2	4,7	4,9	8,6
45	3,5	6	7,4	12,8
60	2,5	5,3	5,4	10,8
75	2,1	4,7	5,2	7,6
90	0,6	1,5	1,8	3,9

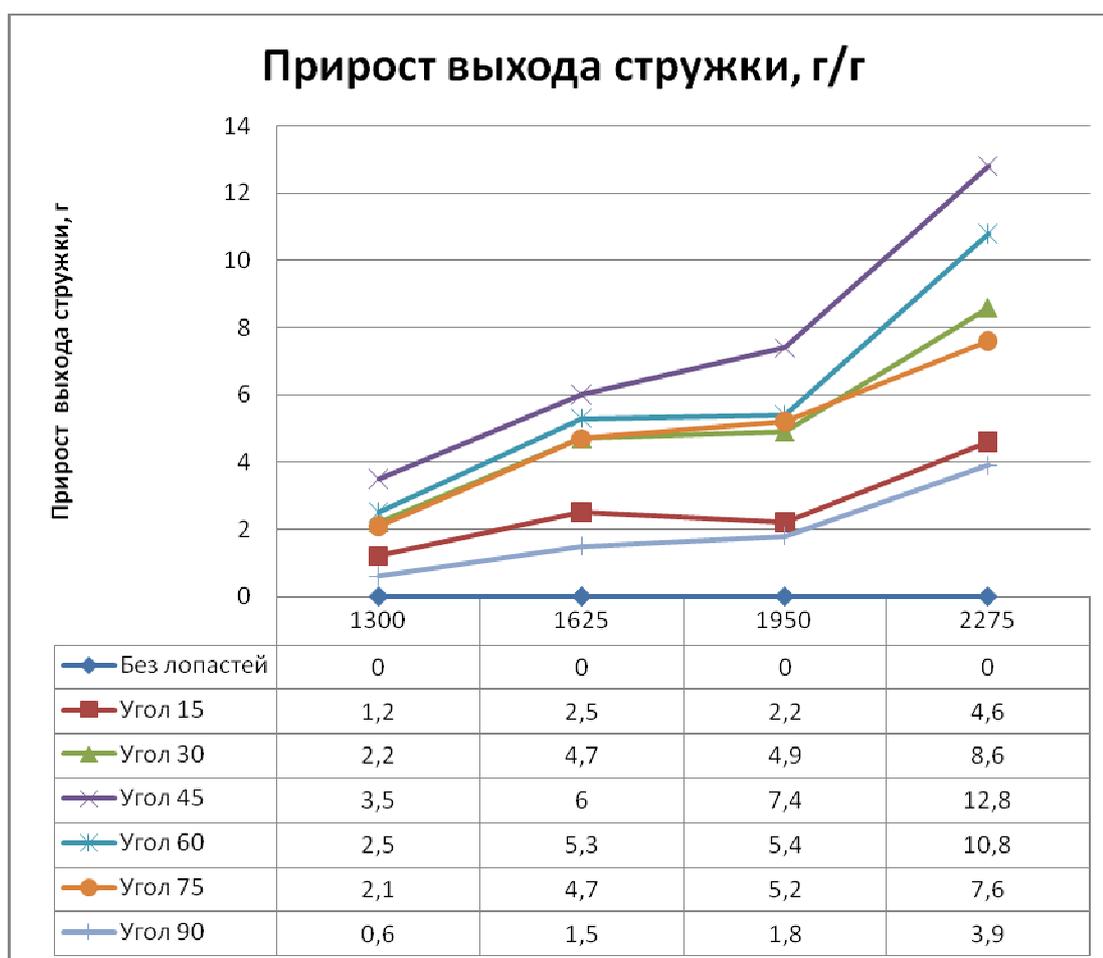


Рис. 3.62. Количественные изменения прироста производительности модернизированного шнекового конвейера по усредненным значениям экспериментальных данных (количество дополнительных лопастей – 1).

**Количественные показатели прироста производительности  
шнекового конвейера с установленными дополнительными лопастями**

**(количество дополнительных лопастей – 2)**

Прирост выхода стружки, г				
Угол атаки лопастей	Загрузка желоба, г/г			
	1300/20	1625/25	1950/30	2275/35
Без лопастей	0	0	0	0
15	11,4	26,8	99,3	45,4
30	17,7	68,9	147,5	60
45	22,5	78,9	170,2	82,6
60	17,3	73,7	157,4	74,6
75	8,1	55,5	123,8	35,2
90	1,4	22,9	56,6	14,6

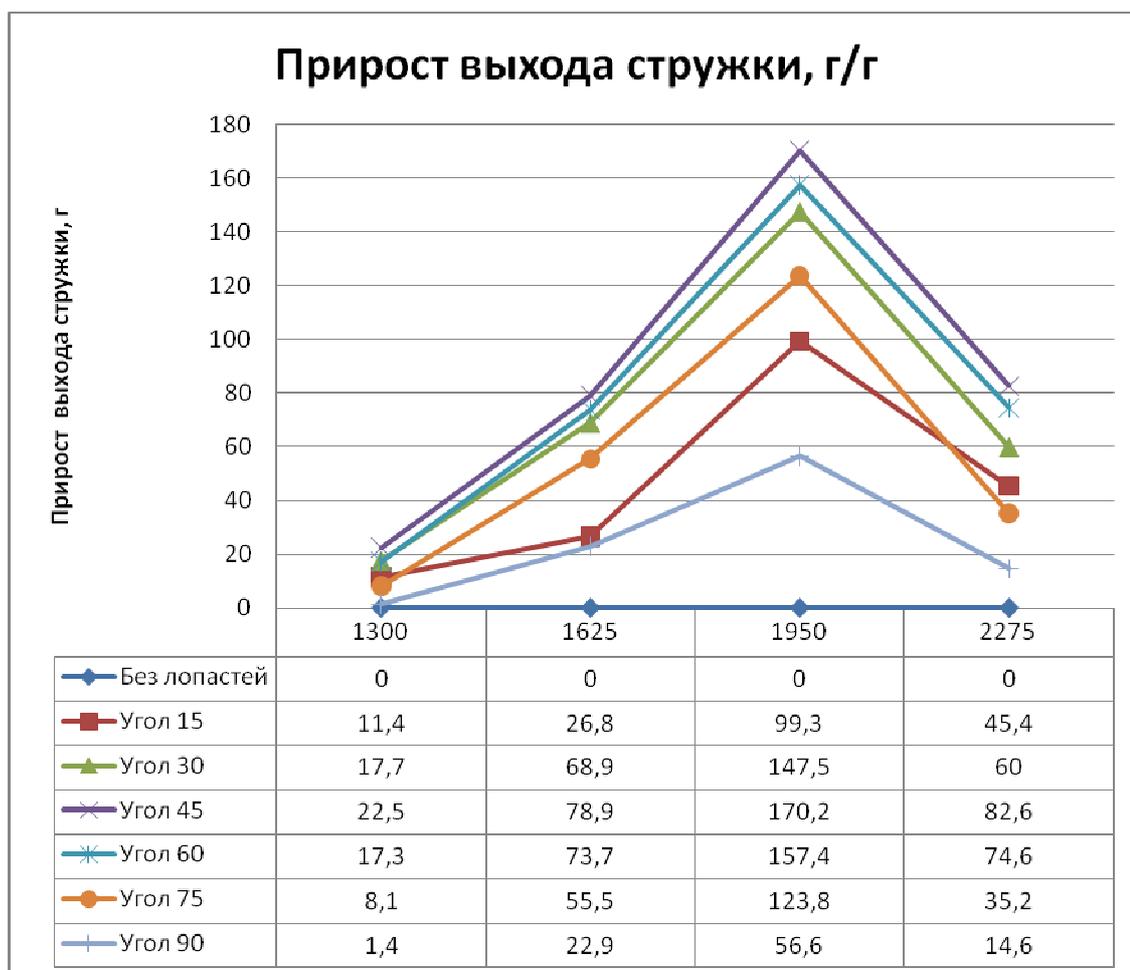


Рис. 3.63. Количественные изменения прироста производительности модернизированного шнекового конвейера по усредненным значениям экспериментальных данных (количество дополнительных лопастей – 2).

**Количественные показатели прироста производительности  
шнекового конвейера с установленными дополнительными лопастями**

**(количество дополнительных лопастей – 3)**

Прирост выхода стружки, г				
Угол атаки лопастей	Загрузка желоба, г/г			
	1300/20	1625/25	1950/30	2275/35
Без лопастей	0	0	0	0
15	19,5	72,4	217,5	82,2
30	30,5	126,9	290,5	109,4
45	40,8	148,7	329,5	157,5
60	31,1	141,3	306,7	134,2
75	13,3	106,8	240,5	64,8
90	1,6	45,4	108,7	25,2

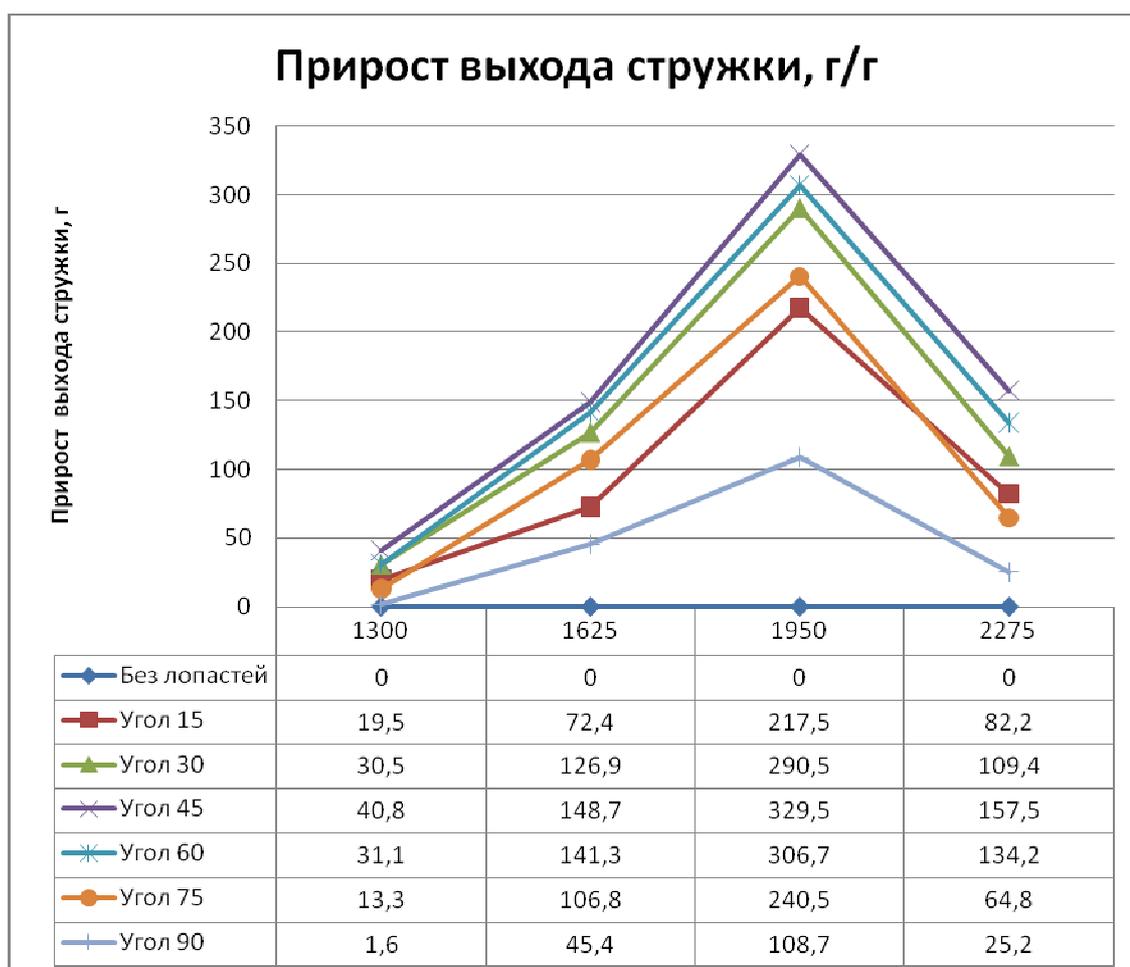


Рис. 3.64. Количественные изменения прироста производительности модернизированного шнекового конвейера по усредненным значениям экспериментальных данных (количество дополнительных лопастей – 3).

**Количественные показатели прироста производительности  
шнекового конвейера с установленными дополнительными лопастями**

**(количество дополнительных лопастей – 4)**

Прирост выхода стружки, г				
Угол атаки лопастей	Загрузка желоба, г/г			
	1300/20	1625/25	1950/30	2275/35
Без лопастей	0	0	0	0
15	10,7	21,8	90,6	24,3
30	12,7	64,9	132	46,6
45	19,5	73,3	150,8	74
60	15,5	67,7	144,8	59,8
75	5,6	51,3	111,8	26,8
90	1,2	13,9	47,8	3

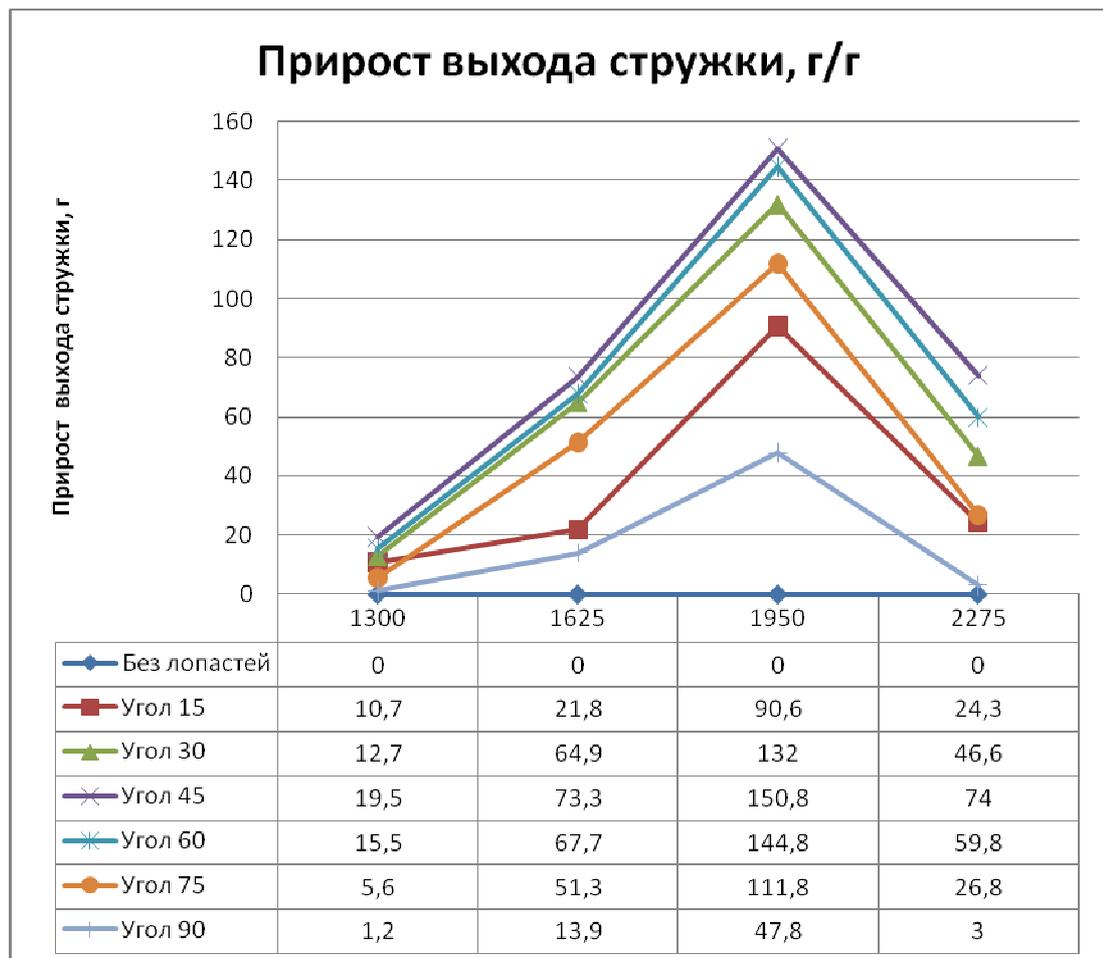


Рис. 3.65. Количественные изменения прироста производительности модернизированного шнекового конвейера по усредненным значениям экспериментальных данных (количество дополнительных лопастей – 4).

Полученные экспериментальные данные о энергоёмкости процесса транспортирования стружки сопоставляемых шнековых конструкций (классической и с дополнительными лопастями) сведены в таблицу 3.14, на основании которой построен график зависимости изменения уровня энергопотребления от производительности и конструктивных параметров использованного шнека – рис. 3.66.

Таблица 3.14

**Показатели взаимосвязи энергоёмкости и производительности  
шнекового конвейера**

Производительность, г/мин	Энергопотребление, Вт/мн		
	без лопастей	3 лоп. (прогноз)	3 лоп. (факт)
1,4	15,2		
3,2	17,1		
4,5	21,5	30,0	18,8
5,6	31,7	40,0	25,2
12,4	45,7	57,0	37,6
13,7		67,0	48,5
20,6		75,0	54,3
22,5		80,0	57,1

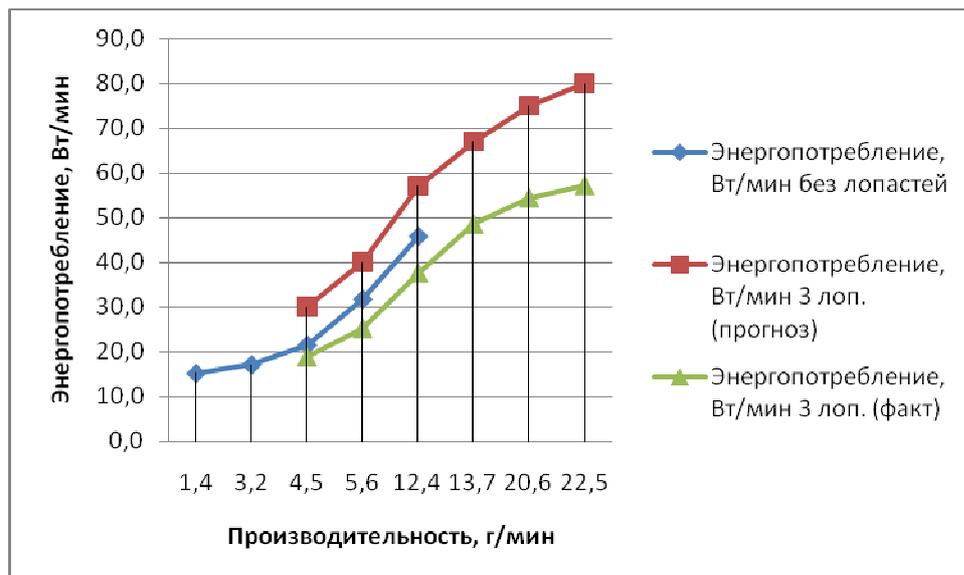


Рис. 3.66. Зависимость изменения уровня энергопотребления от производительности и конструктивных параметров использованного шнека.

### Выводы к разделу 3

1. Разработана экспериментальная лабораторная установка, которая позволяет учитывать влияние угла атаки и количества дополнительных лопастей, а также наполняемость желоба, на производительность шнекового конвейера.

2. Предложена методика проведения эксперимента по изучению процесса транспортирования металлической стружки шнековым конвейером с возможностью варьирования угла атаки дополнительных лопастей.

3. Выполнены экспериментальные исследования влияния угла атаки и начала движения металлической стружки, количества дополнительных лопастей и наполняемости желоба на производительность шнекового конвейера, что позволило выявить наиболее эффективные искомые параметры.

4. Впервые рассчитаны количественные изменения прироста производительности шнекового конвейера по трем варьируемым параметрам: наполняемости желоба, углу атаки и количеству дополнительных лопастей.

5. Впервые экспериментально установлены конкретные значения наиболее эффективных конструктивных параметров, влияющих на производительность шнекового конвейера, а именно: наполняемость желоба – 25-30%; угол атаки дополнительных лопастей – 40-50°; количество дополнительных лопастей – 2-4 шт.

## РАЗДЕЛ 4

# ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ И РЕКОМЕНДАЦИИ ОТНОСИТЕЛЬНО ЭФФЕКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ШНЕКОВОГО КОНВЕЙЕРА ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ СТРУЖКИ.

### **4.1 Определение эффективных параметров угла атаки и количества лопастей, наполняемости желоба шнекового конвейера.**

На основании полученных экспериментальных и расчетных данных изменения производительности и количественных показателей прироста производительности были произведены расчеты по определению качественных показателей прироста производительности шнекового конвейера. Результаты расчетов качественных показателей прироста производительности приводятся в таблицах 4.1 - 4.4, на основании которых были построены графики качественного прироста производительности модернизированного шнекового конвейера. Графики качественного прироста производительности представлены на рис. 4.1 - 4.4.

По проведенному анализу математического планирования эксперимента были получены следующие результаты: количество лопастей – 3,2 (однако, понимая, что количеством лопастей может быть лишь целое значение, приняли 3); угол атаки лопастей –  $42,1^\circ$ ; наполняемость желоба – 1943,3 г. На основании проведенных экспериментов было подтверждено теоретическое значение оптимального диапазона определяемых значений исследуемых параметров. Благодаря экспериментальным данным прироста производительности модернизированного конвейера, был выявлен диапазон оптимальных исследуемых параметров сведенных в таблицу 4.5, на основании которой был построен график оптимального прироста производительности, который отображен на рис. 4.5.

**Качественные показатели прироста производительности  
шнекового конвейера с установленными дополнительными лопастями  
(количество дополнительных лопастей – 1)**

Прирост выхода стружки, %				
Угол атаки лопастей	Загрузка желоба, г/г			
	1300/20	1625/25	1950/30	2275/35
Без лопастей	100	100	100	100
15	106,8	104,8	102,0	101,5
30	112,4	109,0	104,5	102,8
45	119,8	111,5	106,8	104,1
60	114,1	110,2	105,0	103,5
75	111,9	109,0	104,8	102,4
90	103,4	102,9	101,7	101,3

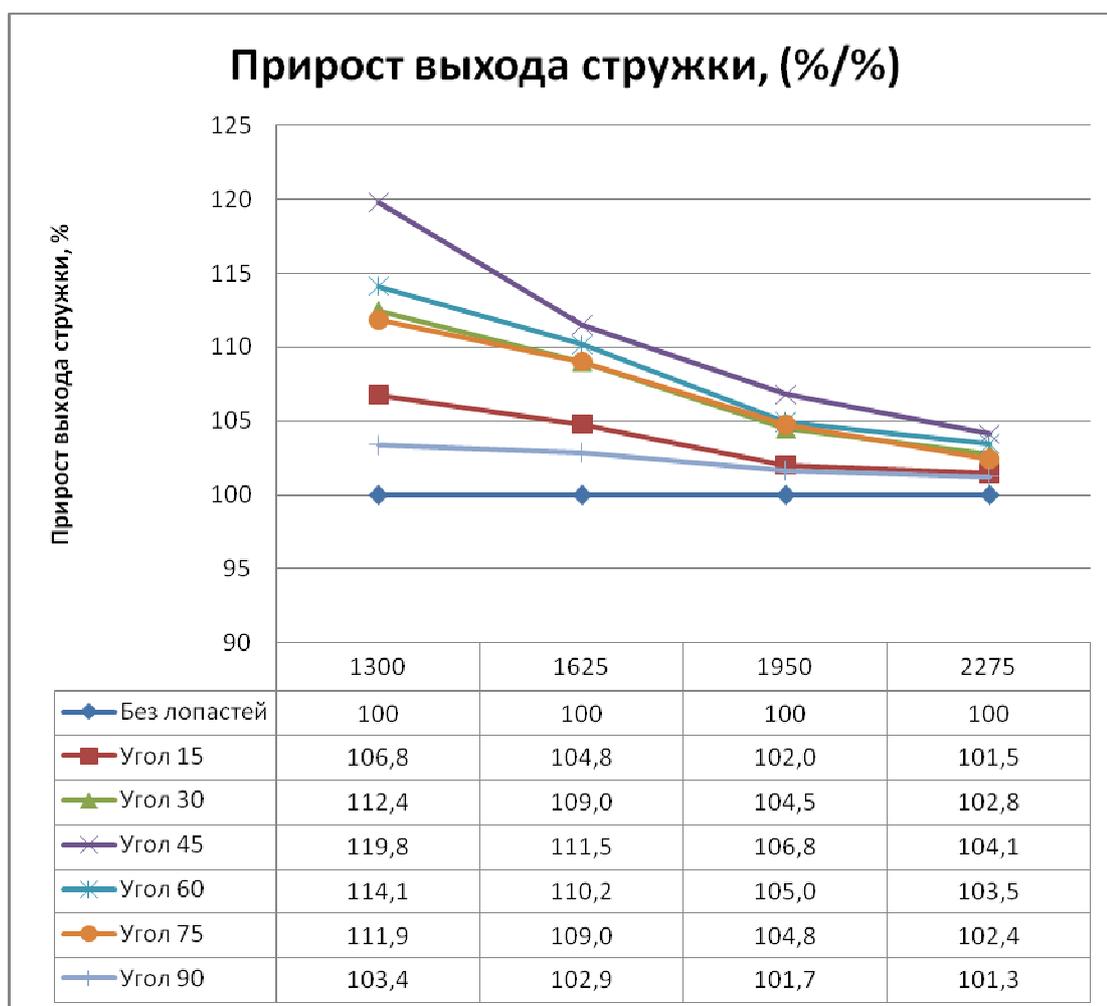


Рис. 4.1. Качественные изменения прироста производительности модернизированного шнекового конвейера по усредненным значениям экспериментальных данных (количество дополнительных лопастей – 1).

**Качественные показатели прироста производительности  
шнекового конвейера с установленными дополнительными лопастями  
(количество дополнительных лопастей – 2)**

Прирост выхода стружки, %				
Угол атаки лопастей	Загрузка желоба, г/г			
	1300/20	1625/25	1950/30	2275/35
Без лопастей	100	100	100	100
15	164,4	151,4	191,1	114,6
30	200,0	232,2	235,3	119,3
45	227,1	251,4	256,1	126,6
60	197,7	241,5	244,4	124,0
75	145,8	206,5	213,6	111,3
90	107,9	144,0	151,9	104,7

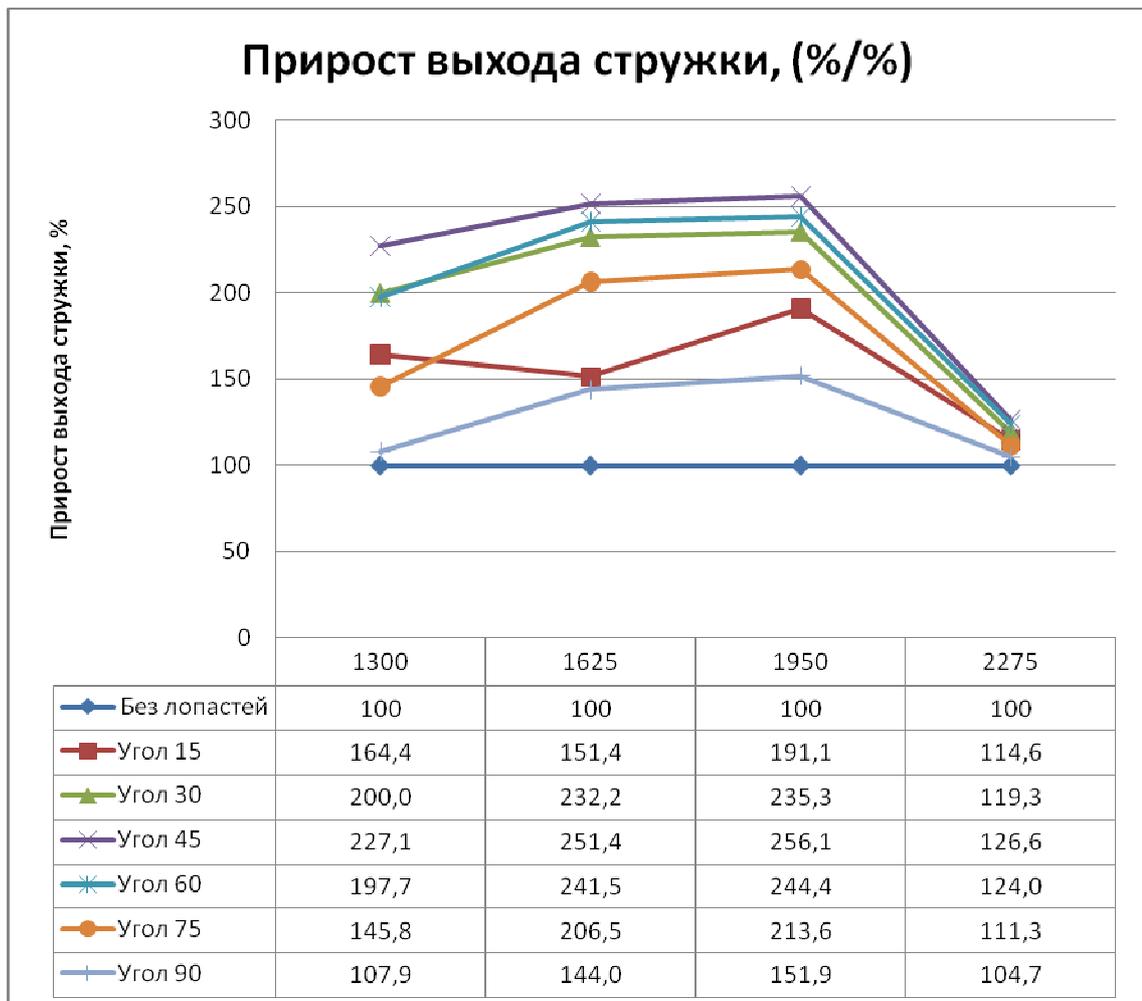


Рис. 4.2. Качественные изменения прироста производительности модернизированного шнекового конвейера по усредненным значениям экспериментальных данных (количество дополнительных лопастей – 2).

**Качественные показатели прироста производительности  
шнекового конвейера с установленными дополнительными лопастями  
(количество дополнительных лопастей – 3)**

Прирост выхода стружки, %				
Угол атаки лопастей	Загрузка желоба, г/г			
	1300/20	1625/25	1950/30	2275/35
Без лопастей	100	100	100	100
15	210,2	239,0	299,5	126,4
30	272,3	343,6	366,5	135,2
45	330,5	385,4	402,3	150,6
60	275,7	371,2	381,4	143,2
75	175,1	305,0	320,6	120,8
90	109,0	187,1	199,7	108,1

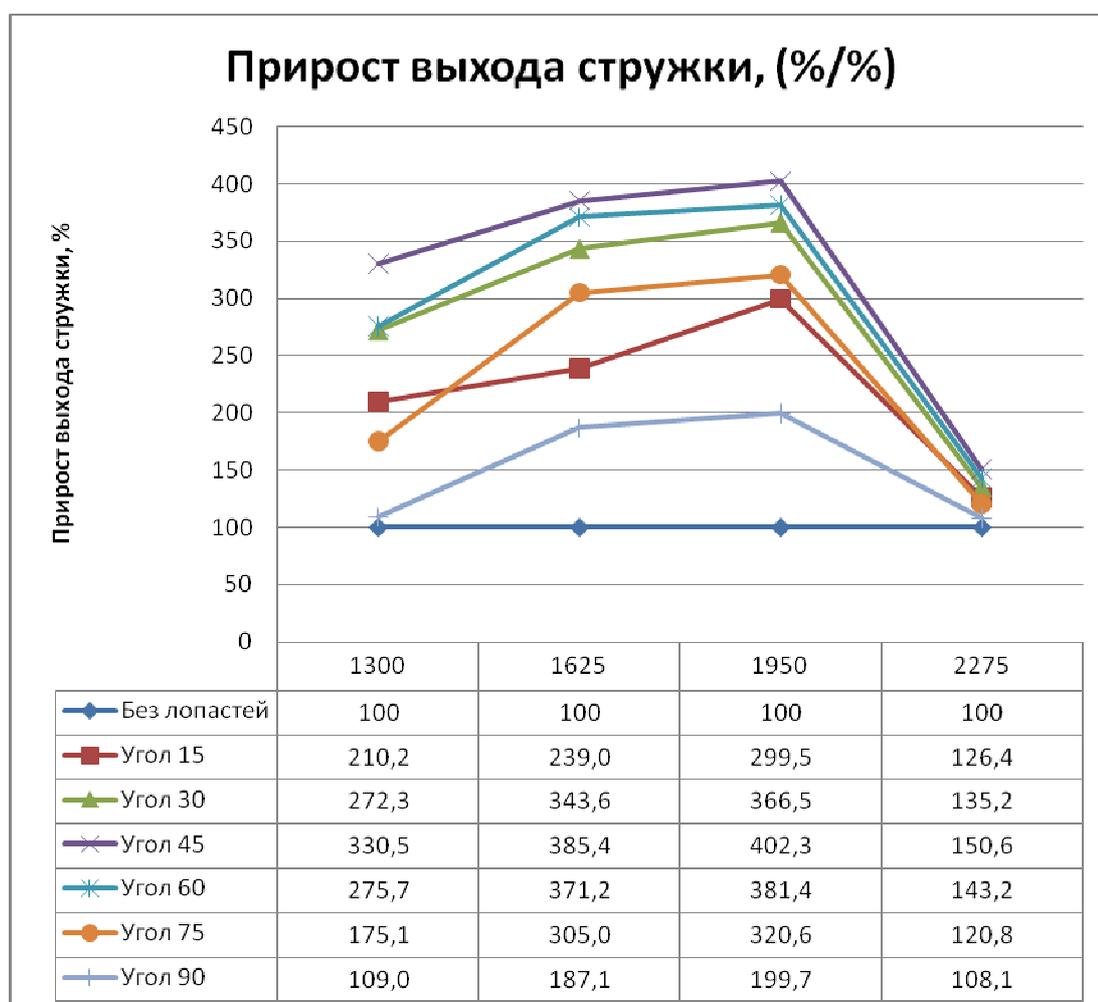


Рис. 4.3. Качественные изменения прироста производительности модернизированного шнекового конвейера по усредненным значениям экспериментальных данных (количество дополнительных лопастей – 3).

**Качественные показатели прироста производительности  
шнекового конвейера с установленными дополнительными лопастями  
(количество дополнительных лопастей – 4)**

Прирост выхода стружки, %				
Угол атаки лопастей	Загрузка желоба, г/г			
	1300/20	1625/25	1950/30	2275/35
Без лопастей	100	100	100	100
15	160,5	141,8	183,1	107,8
30	171,8	224,6	221,1	115,0
45	210,2	240,7	238,3	123,8
60	187,6	229,9	232,8	119,2
75	131,6	198,5	202,6	108,6
90	106,8	126,7	143,9	101,0

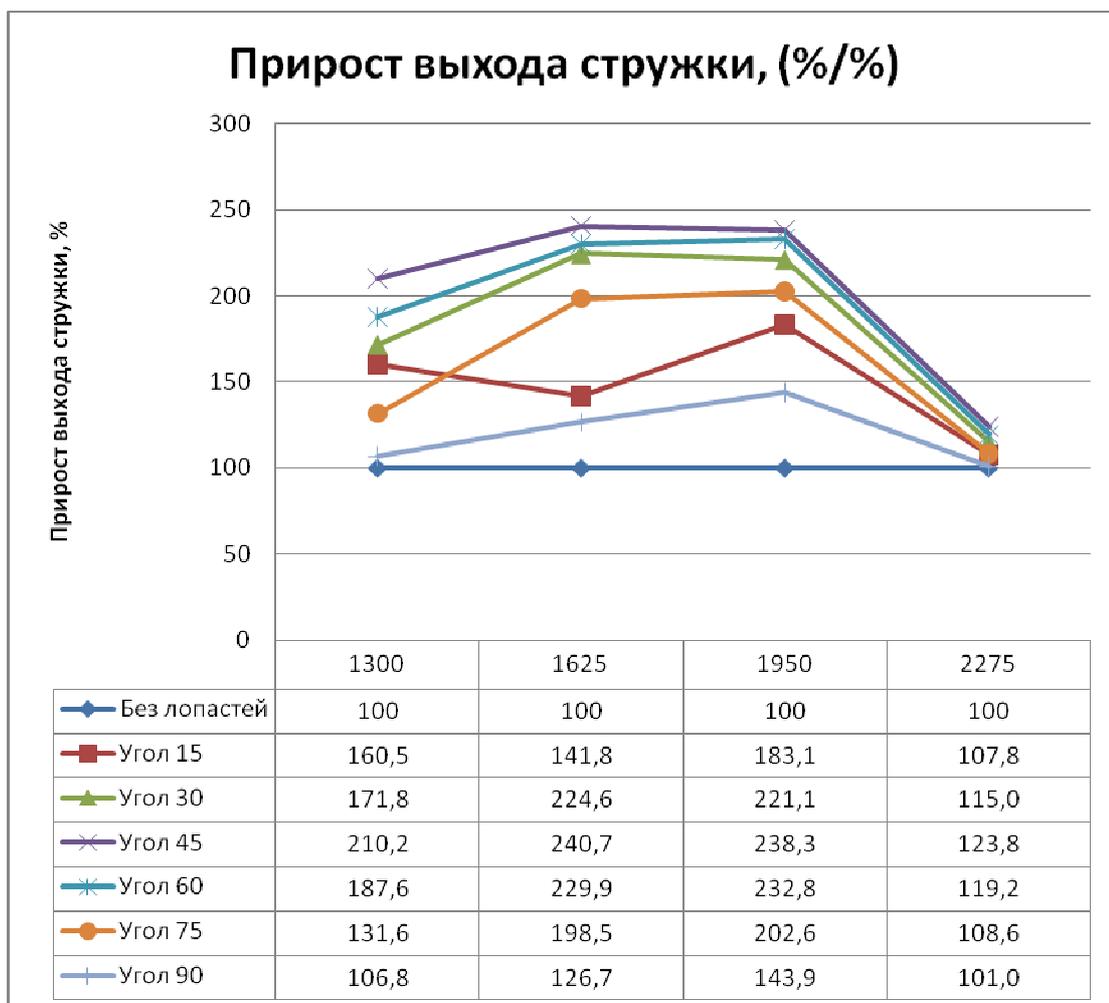


Рис. 4.4. Качественные изменения прироста производительности модернизированного шнекового конвейера по усредненным значениям экспериментальных данных (количество дополнительных лопастей – 4).

**Эффективный диапазон исследуемых параметров по приросту  
производительности шнекового конвейера**

Прирост производительности, %				
Количество лопастей	Угол атаки	Наполняемость желоба, г/%		
		1300/20	1625/25	1950/35
2	30	200	232,2	235,3
2	45	227,1	251,4	256,1
2	60	197,7	251,4	256,1
3	30	272,3	343,6	366,5
3	45	330,5	385,4	402,3
3	60	275,7	371,2	381,4
4	30	171,8	224,6	221,1
4	45	210,2	240,7	238,3
4	60	187,6	229,9	232,8

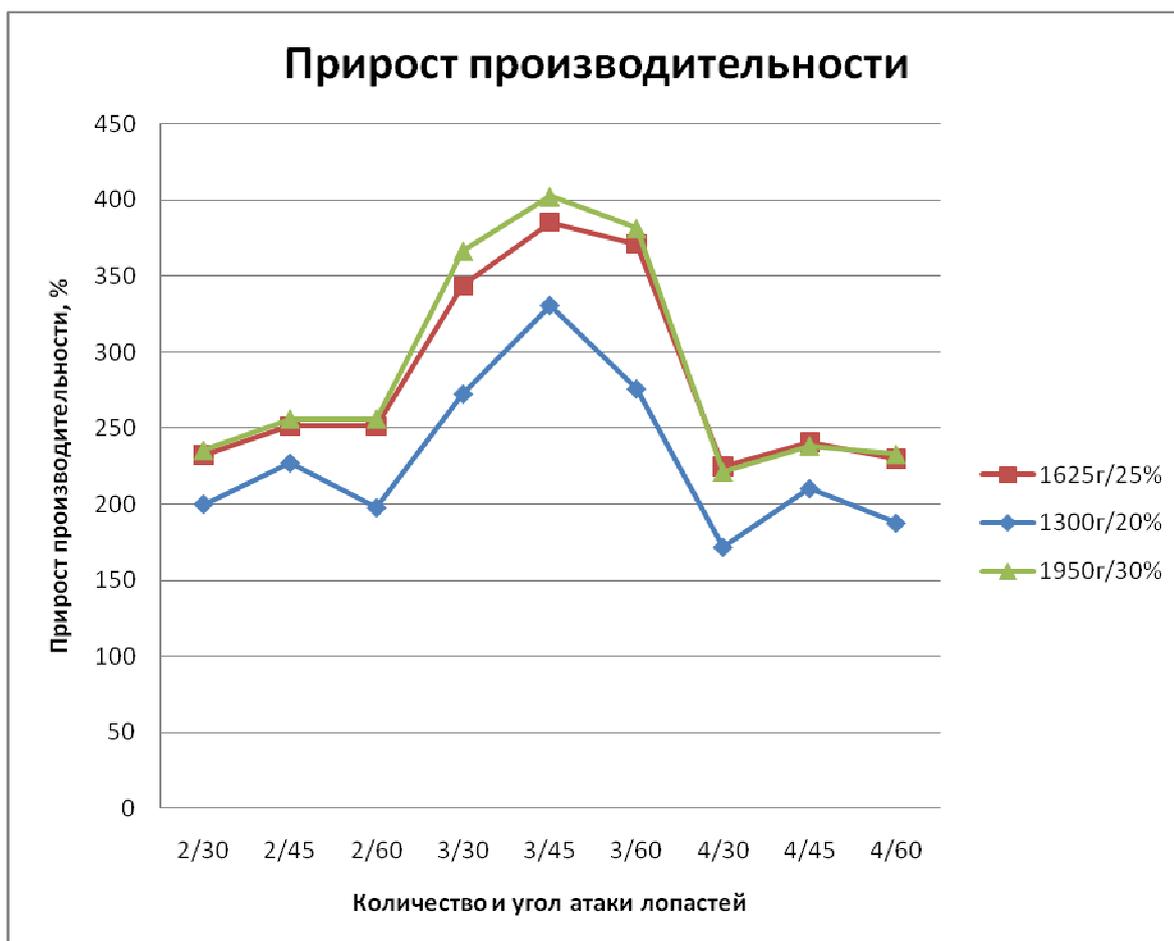


Рис. 4.5. График эффективных диапазонов исследуемых параметров по приросту производительности шнекового конвейера.

На данном графике (рис. 4.5) отсутствует отсеченный диапазон исследований с одной дополнительной лопастью. Причиной малого прироста производительности шнекового конвейера с одной дополнительной лопастью – преобразование конвейера в смеситель. По сути дела функция смешивания, как приоритетная, нас не интересует и целью эксперимента не была. Отсечен также диапазон углов атаки: 15, 75, 90°. Причиной низкого прироста производительности для лопасти, расположенной с углом атаки 15°, является присутствие значительного зазора, образованного между дополнительной лопастью и валом шнека, через который стружка пересыпается обратно в желоб, не поднявшись за уровень его наполняемости для обеспечения процесса заполнения образованных пустот новой стружкой, находящейся в желобе. То есть стружка, поднятая лопастью, не дает возможности продвижения новой стружки, находящейся в желобе, для дальнейшего двухслойного транспортирования и взаимного перемещения. Отсечение диапазона, соответствующего углу атаки лопастей 75 и 90°, вызвано также низким приростом производительности шнекового конвейера, который объясняется достаточно малым зазором (при угле атаки лопастей 75°) и полным его отсутствием (при угле атаки лопастей 90°) между дополнительной лопастью и валом шнека. Незначительный зазор и тем более его отсутствие не позволяет вернуться стружке, попавшей в поле атаки лопасти, обратно в желоб на участок ручья стружки. Также, унесенная лопастью стружка, пересыпается на противоположную сторону шнека, относительно оси, что, введу конструкционных особенностей самого шнека, способствует понижению производительности, так как стружка транспортируется на предыдущий участок желоба с обратной стороны ручья. Отсеченным на графике также является диапазон наполнения желоба в 35%. На данном диапазоне наблюдается значительный спад прироста производительности шнекового конвейера, что и стало причиной нецелесообразности дальнейшего исследования данного диапазона наполняемости желоба.

На графике отображен диапазон наполняемости желоба от 20% до 30%. При наполняемости желоба равной 20% наблюдается плавное увеличение прироста производительности вплоть до пикового, достигаемого при угле атаки лопасти  $45^\circ$ . После чего наблюдается плавное равномерное снижение прироста производительности конвейера. Такой же доминирующий прирост присущ и наполняемости желоба в 25% и 30%. Пик прироста производительности для наполняемости желоба шнекового конвейера в диапазоне 20-30% приходится, в большей степени, на 30% наполняемость желоба. Прирост производительности, приведенный относительно классической конструкции шнекового конвейера, для наполняемости желоба 20% составляет от 1,7 до 3,3 раз; для наполняемости желоба 25% – составляет от 2,3 до 3,8 раз; для наполняемости желоба 30% – составляет от 2,2 до 4,0 раз. Необходимо принять среднее значение данных диапазонов, так как идеальные (лабораторные) условия могут отличаться от реальных (производственных). Полученные усредненные экспериментальные величины производительности – 450 г/мин, энергоемкости – 50 Вт/мин или 0,11 Вт/г. Приняв среднее значение указанных диапазонов, получаем: для наполняемости желоба 20% – 2,5раз; для наполняемости желоба 25% – 3,05раз; для наполняемости желоба 30% – 3,1раз. Соотношение усредненных значений приростов производительностей и показало доминирующее положение наполняемости желоба. То есть, приняв усредненные значения, получаем тождественность превосходства прироста производительности шнекового конвейера при наполняемости желоба в 30%.

График эффективных диапазонов исследуемых параметров по приросту производительности шнекового конвейера (рис. 4.5) дает нам четкую картину сопоставления значений экспериментальных данных, по которым следует наглядное превосходство шнекового конвейера с тремя дополнительными лопастями, расположенными с углом атаки  $45^\circ$ , при наполняемости желоба в 30%. Данная модернизация шнекового конвейера

даст прирост производительности до 400% при идеальных экспериментальных условиях.

#### **4.2 Шнековый конвейер усовершенствованной конструкции.**

На основании проведенных экспериментальных исследований и теоретических расчетов был разработан и сконструирован шнековый конвейер усовершенствованной конструкции, которая защищена патентом Украины на полезную модель [128]. Изобретение относится к промышленному транспорту, а именно к шнековым конвейерам, используемым для транспортирования металлической стружки от станка.

В основу полезной модели поставлена задача повышения производительности шнекового конвейера путем совершенствования конструкции и геометрии шнека.

Поставленная задача решается тем, что в шнековом конвейере, содержащем полый корпус с загрузочным и выгрузочным окнами и приводной вал со спиральными ребрами, который продольно установлен в полости корпуса, на рабочей спиральной поверхности шнека установлены ребра, длиной равной высоте спирали шнека в количестве трех ребер на один оборот-шаг.

Наличие трех ребер на спиральной поверхности шнека способствует поднятию и переносу стружки в транспортируемом направлении, а за счет длины ребер, равной высоте спирали шнека, обеспечивается пересыпка стружки. Перенос, поднятие и пересыпка стружки в желобе шнекового конвейера увеличивает полезный объем желоба – повышается производительность.

Сущность полезной модели поясняется чертежами (рис. 4.6 и 4.7).

Шнековый конвейер имеет электродвигатель 1, которой соединен с червячным редуктором 2. К червячному редуктору 2 присоединен шнек 3 и желоб 4. На рабочей спиральной поверхности шнека 3 установлены ребра 5.

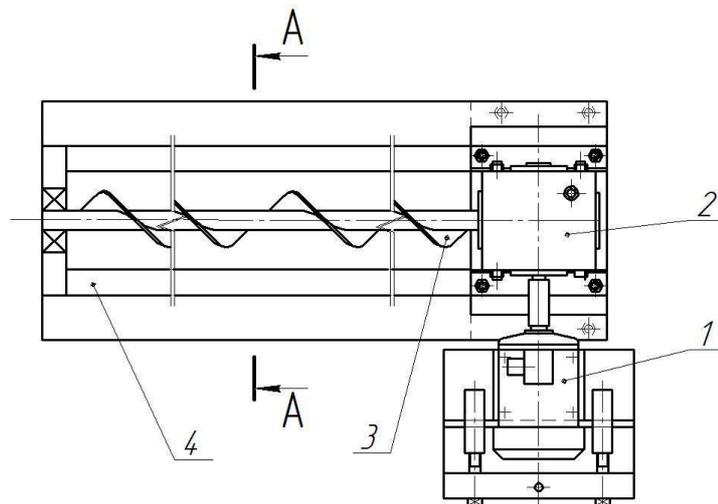


Рис. 4.6. Шнековый конвейер, вид сверху.

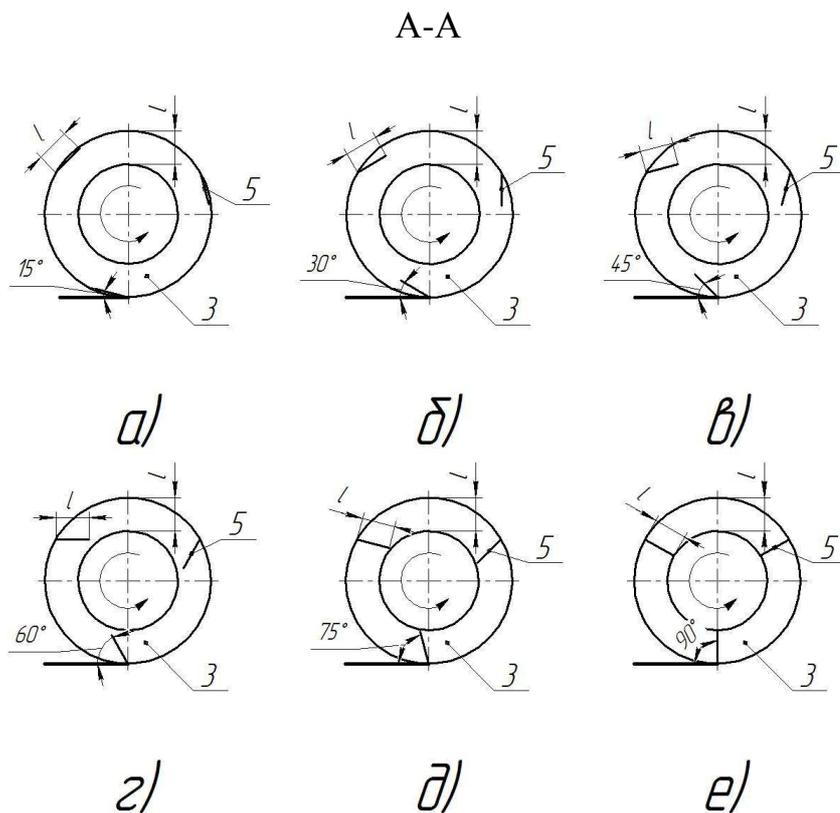


Рис. 4.7. Вариации сечения А-А на рис. 4.6:

а – угол атаки  $15^\circ$ ; б – угол атаки  $30^\circ$ ; в – угол атаки  $45^\circ$ ;

г – угол атаки  $60^\circ$ ; д – угол атаки  $75^\circ$ ; е – угол атаки  $90^\circ$ .

Шнековый конвейер работает следующим образом. С помощью электродвигателя 1 передается крутящий момент на червячный редуктор 2, который приводит в действие шнек 3. Загруженная стружка в желоб 4 транспортируется в направлении выгрузного окна с помощью шнека 3. С помощью ребер 5, установленных на рабочей спиральной поверхности шнека 3, осуществляется пересыпки стружки в транспортируемой направлении и опрокидывания стружки на другую сторону оси шнека, что позволяет освободить полезный объем желоба.

Таким образом шнековый конвейер данной конструкции обладает повышенной производительностью.

Беря во внимание прирост производительности шнекового конвейера усовершенствованной конструкции, можем судить об экономической целесообразности проекта. По усредненным данным предприятий Украины масса отходов одного машиностроительного предприятия составляют от 100 до 3000 т/год. Рыночная стоимость энергоресурсов для производственных предприятий Украины составляет (с учетом НДС) 142,33 коп/кВт [129]. При среднем потреблении электроэнергии до 5 кВт/час одним конвейером, транспортирующем 2 т/час металлической стружки, получаем энергозатраты одного предприятия в пределах от 250 до 7500 кВт/год, что в денежном эквиваленте соответствует 356-10675 грн/год. С учетом того, что производительность и энергоемкость являются обратно пропорциональными величинами, а также увеличенной производительностью в пределах 30-40% шнекового конвейера, получаем усредненную сумму чистой экономии в пределах 2000 грн/год в одном машиностроительном предприятии (табл. 4.6).

**Экономический эффект применения шнекового конвейера с  
дополнительными лопастями**

№ п/п	Наименование показателей	Единица измерения	Величина измерения
1	Среднегодовая масса отходов машиностроительных предприятий Украины	т/год	100 - 3000
2	Рыночная стоимость энергоресурсов для производственных предприятий Украины (с учетом НДС)	коп/кВт	142,33
3	Среднее потребление электроэнергии одним шнековым конвейером	кВт/час	5
4	Среднее транспортируемый объем металлической стружки одним шнековым конвейером	т/час	2
5	Среднегодовые энергетические затраты одного предприятия на транспортирование металлической стружки шнековым конвейером	кВт/год	250 - 7500
6	Среднегодовые экономические затраты предприятия на транспортирование металлической стружки шнековым конвейером	грн/год	356 - 10675
7	Снижение энергетических затрат на транспортирование металлической стружки шнековым конвейером с дополнительными лопастями	%	30
8	Усредненная сумма чистой экономии на одном машиностроительном предприятии	грн/год	2000

#### **Выводы к разделу 4**

1. Определены эффективные параметры шнекового конвейера, а именно: количество лопастей – 3,2 (однако, понимая, что количеством лопастей может быть лишь целое значение, приняли 3); угол атаки лопастей – 42,1°; наполняемость желоба – 1943,3 г.

2. Получены графики качественных изменений прироста производительности шнекового конвейера при различных конструктивных компоновках.

3. Разработана конструкция шнекового конвейера, обладающего повышенной производительностью при неувеличенном энергопотреблении, за счет эффективных угла атаки и количества дополнительных лопастей.

4. Использование предложенной конструкции и методики проектирования шнековых конвейеров для транспортирования металлической стружки обеспечит суммарный экономический эффект предприятий промышленности и механической обработки в среднем 42620 грн/год.

## ВЫВОДЫ

В результате теоретических и экспериментальных исследований, проведенных в диссертационной работе, получено решение актуальной научной задачи по обоснованию параметров шнековых конвейеров с дополнительными лопастями, которая обеспечивает эффективную производительность процесса транспортирования стружки, и сформулированы следующие выводы.

1. Решена задача механизма взаимодействия стружки с дополнительными лопастями шнекового конвейера, которая позволяет обосновать его конструктивные параметры: рекомендуемое количество дополнительных лопастей – 3 шт., наполнение желоба – 30%, эффективный угол атаки лопастей –  $42,1^\circ$ .

2. В работе с полученных уравнений плоскостей определены взаимосвязи углов атаки и начала движения материала на дополнительной лопасти, позволяющие уточнить и рекомендовать частоту вращения шнека с дополнительными лопастями –  $0,31 \text{ с}^{-1}$ .

3. Для шнековых конвейеров с дополнительными лопастями необходимо корректировать параметры работы приводного механизма из условий минимальной критической подъемно-движущей силы. Применение дополнительных лопастей в конструкции шнека позволяет уменьшить энергоемкость процесса транспортирования на 25...30% и увеличить производительность на 30...40%..

4. В результате экспериментальных исследований процесса транспортирования стружки шнековым конвейером с дополнительными лопастями по трем параметрам (количество дополнительных лопастей – 3 шт., наполнение желоба – 30%, эффективный угол атаки лопастей –  $42,1^\circ$ ) подтвердилась адекватность математических расчетных моделей и результатов экспериментов.

5. Результаты диссертационной работы приняты к использованию в практике на ООО «ТВА СКИФ» (Днепропетровск) и «Приднепровский механический завод» (г. Днепродзержинск), общий экономический эффект внедрений 42620 грн / год.

6. В результате выполнения теоретических и экспериментальных исследований разработана методика для расчета параметров шнековых конвейеров с дополнительными лопастями, которая внедрена в образовательный процесс ДГТУ.

7. Научная новизна конструкции шнекового конвейера подтверждена патентом Украины на полезную модель (МПК В65G 33/14 № 83441 зарег. 10.09.2013 Бюл. № 17).

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Лившиц В.И. Транспортные устройства промышленных предприятий. Конвейерный транспорт на внешних перевозках / Лившиц В.И. – М.: ГосИНТИ, 1963.
2. Тихонцов А.М. Научные основы создания специальных видов транспорта для механических цехов машиностроительных заводов : дис. ... доктора техн. наук : 05.03.01 / Тихонцов Александр Михайлович. – Днепродзержинск, 1981.
3. Kiaulehn W. : Die eisemen Engel. Reinbeck : Rowohlt 1953, S. 23.
4. Salter G. : Stetigforderer. Mainz : Krausskopf, 1964.
5. Schenkel G. : Kunststoff-Extrudertechnik. Munchen: Carl Haiizer'1963.
6. Fisher E.G. : Extrusion of Plastics. London : Iliffe Books Ltd. 1964.
7. Mc Kelvey J.M. : Polymer Processing. New York : John Wiley A. Sons, Inc. 1962.
8. Erdmenger R. : Mehrwellenschnecken in der Verfahrenstechnik. Chem. Ing.-Techn. S. 175—185 (1964).
9. Геррман Х. Шнековые машины в технологии / Геррман Х ; [пер. с нем. Л. Веденяпина]. – Л., Химия, 1975.
10. Логин М.И. Транспортировка и переработка стружки / Логин М.И. – М. : 1968. – (Машиностроение).
11. Александров М.П. Подъемно-транспортные машины : учеб. [для машиностроит. спец. вузов. – 6-е изд., перераб.] / Александров М.П. – М.: Высш. шк., 1985. – 520 с., ил.
12. Григорьев А.М. Винтовые конвейеры / Григорьев А.М. – М.: 1972. – 184 с. – (Машиностроение).
13. Волков Р.А. Конвейеры : справочник / Р.А. Волков, А.Н. Гнутов, В.К. Дьячков и др. ; под общ. ред. Ю.А. Пертена. – Л.: Ленингр. отд-ние, 1984. – 367с., с ил. – (Машиностроение).

14. Спиваковский А.О. Транспортирующие машины : учеб. пособие для машиностроительных вузов. – [3-е изд., перераб.] / А.О. Спиваковский, Дьячков В.К. – М.: 1983. – 487 с., ил. – (Машиностроение).

15. Евстратов В.А., Шнековые пресса и винтовые конвейеры в промышленности строительных материалов / В.А. Евстратов, Н.Н. Евстратова – Ростов-на-Дону : Издательство СКНЦ ВШ, 2001. – 206 с.

16. Пат. 45000 Украина, МПК В65G 33/14. Шнековое приспособление / Париев А.А.; заявитель и патентообладатель Ин-т механизации животноводства Укр. академии аграрных наук. – № 2000127022 ; заявл. 07.12.2000 ;. опубл. 15.03.2002. Бюл. №3/2002.

17. Пат. 13865 Украина, МПК В65G 33/14. Транспортер шнековый / Пляцун Я.В.; заявитель и патентообладатель Пляцун Яков Владимирович. – № u200510495 ; заявл. 07.11.2005 ; опубл. 17.04.2006, Бюл. №4/2006.

18. Пат. 111528 U1 Российская Федерация, МПК В65G 33/14 Шнековый питатель / Жарков В.В.; заявитель и патентообладатель Тульский государственный университет" (ТулГУ). – № 2011125682/11 ; заявл. 22.06.2011 ; опубл. 20.12.2011.

19. Пат. 897 Украина, МПК В65G 33/14 Питатель / Михайлов В.Г.; заявитель и патентообладатель Михайлов Василий Григорьевич. – № 2000095204 ; заявл. 08.09.2000 ; опубл. 16.07.2001, Бюл. № 6/2001.

20. Пат. 2644 Украина, МПК В65G 33/14 Шнековый конвейер линейной или замкнутой конфигурации / Симшанов В.И.; заявитель и патентообладатель Симшанов Виктор Иванович. – № 2003087370 ; заявл. 05.08.2003 ; опубл. 15.07.2004, Бюл. № 7/2004.

21. Пат. 24467 Украина, МПК В65G 33/14 Винтовой конвейер / Мельник С.М.; заявитель и патентообладатель Мельник Сергей Михайлович. – № 97105028 ; заявл. 14.10.1997 ; опубл. 21.07.1998, Бюл. № 0/1998.

22. Пат. 27245 Украина, МПК В65G 33/14 Винтовой транспортер для дозированного транспортирования сыпучих материалов / Валлнер Ф.;

заявитель и патентообладатель Фьест Альпине Индустрианлагенбау. – № 93090859 ; заявл. 06.07.1993 ; опубл. 15.08.2000, Бюл. № 3/2000.

23. Пат. 26541 U1 Российская Федерация, МПК В65G 33/00 Винтовой конвейер / Кармазинов Ф.В.; заявитель и патентообладатель Государственное унитарное предприятие "Водоканал Санкт-Петербурга". – № 2002119520/20 ; заявл. 25.07.2002 ; опубл. 10.12.2002, Бюл. № 18/2006.

24. Пат. 32387 Украина, МПК В65G 33/14 Винтовой конвейер / Гевко Р.Б.; заявитель и патентообладатель Гевко Роман Богданович. – № u200800724 ; заявл. 21.01.2008 ; опубл. 12.05.2008, Бюл. № 9/2008.

25. Пат. 62236 Украина, МПК В65G 33/14 Дозатор-смеситель / Карманов В.В.; заявитель и патентообладатель Херсонский государственный технический университет. – № 2003021080 ; заявл. 06.02.2003 ; опубл. 15.12.2003, Бюл. № 12/2003.

26. Пат. 66157 Украина, МПК В65G33/14 Гибкая винтовая спираль с внутренним соединением секций / Гевко И.Б.; заявитель и патентообладатель Тернопольский Государственный университет им. И. Пулюя. – № u201106954 ; заявл. 02.06.2011 ; опубл. 26.12.2011, Бюл. №24/2011.

27. Пат. 29049 U1 Российская Федерация, МПК В65G 33/16 Конвейер для подачи сыпучих материалов / Тишаев М.В.; заявитель и патентообладатель Тишаев Михаил Владимирович. – № 2002120122/20 ; заявл. 02.08.2002 ; опубл. 27.04.2003, Бюл. № 15/2007.

28. Пат. 68113 Украина, МПК В65G 33/14 Винтовой конвейер / Гевко Р.Б.; заявитель и патентообладатель Тернопольский национальный экономический университет. – № u201111551 ; заявл. 29.09.2011 ; опубл. 12.03.2012, Бюл. № 5/2012.

29. Пат. 69213 Украина, МПК В65G 33/14 Винтовой конвейер / Рогатинский Р.М.; заявитель и патентообладатель Национальный университет водного хозяйства и природопользования. – № u291111229 ; заявл. 21.09.2011 ; опубл. 25.04.2012, Бюл. № 8/2012.

30. Пат. 102355 U1 Российская Федерация, МПК В65G 33/14 Вертикальный винтовой конвейер / Павлов Е.И.; заявитель и патентообладатель Южно-Российский государственный технический ин-т (Новочеркасский политехнической институт). – № 2010143231/11 ; заявл. 21.10.2010 ; опубл. 27.02.2011.

31. Пат. 120411 U1 Российская Федерация, МПК В65G 33/14, Спирально-винтовой питатель / Исаев Ю.М.; заявитель и патентообладатель Ульяновская государственная сельскохозяйственная академия. – № 2012114994/11 ; заявл. 16.04.2012 ; опубл. 20.09.2012.

32. Пат. 124669 U1 Российская Федерация, МПК В65G 33/14 Спирально-винтовой транспортер / Исаев Ю.М.; заявитель и патентообладатель Ульяновская государственная сельскохозяйственная академия им. П.А. Столыпина. – № 2012134136/11 ; заявл. 09.08.2012 ; опубл. 10.02.2013.

33. Пат. 123767 U1 Российская Федерация, МПК В65G 33/14 Транспортер шнековый / Сергеев А.Г.; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью «Доза-Агро». – № 2012134881/11 ; заявл. 14.08.2012 ; опубл. 10.01.2013.

34. Пат. 65031 U1 Российская Федерация, МПК В65G 33/00 Вертикальный шнековый конвейер / Мазурин В.И.; заявитель и патентообладатель Мазурин Виктор Иванович. – № 2007102778/22 ; заявл. 24.01.2007 ; опубл. 27.07.2007, Бюл. № 26/2009.

35. Пат. 110723 U1 Российская Федерация, МПК В65G 33/00 Спиральный питатель-дозатор / Жарков В.В.; заявитель и патентообладатель Тульский государственный университет" (ТулГУ). – № 2011122439/11 ; заявл. 02.06.2011 ; опубл. 27.11.2011.

36. Евстратова А. Повышение эксплуатационных показателей вертикального винтового конвейера путем рационального выбора конструктивных и режимных параметров шнекового вала / А. Евстратова,

Ю. Олигов // Известия высших учебных заведений : Северо-Кавказский регион : технические науки. – 2009. – №4. – С. 82-89.

37. Рудь А. Метод выбора рационального угла наклона шнековой лопасти винтового конвейера / А. Рудь, Ю. Олигов // Известия высших учебных заведений : Северо-Кавказский регион : технические науки. – 2011. – №5. – С. 55-57.

38. Евстратова А.В. Влияние формы внутренней поверхности корпуса шнекового пресса на его производительность / Евстратова А.В. // Перспективы развития Восточного Донбасса. Сборник науч. тр. по материалам II Международной научно-практической конференции ШИ ЮРГТУ (НПИ). – Новочеркасск, УПЦ «Набла» ЮРГТУ (НПИ), 2007. – С. 113-118.

39. Евстратова А.В. Влияние профиля шнековой лопасти на производительность вертикального винтового конвейера / Евстратова А.В., Олигов Ю.Б. // Информационно-вычислительные технологии и их приложения / Сборник статей VIII Международной научно-технической конференции. – Пенза, РИО ПГСХА, 2008. – С 158-161.

40. Евстратова А.В. Влияние угла наклона шнековой лопасти на производительность вертикального винтового конвейера. Перспектива – 2009 / Евстратова А.В., Олигов Ю.Б. // Материалы Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых.-Т.IV. – Нальчик : Каб. – Балк. ун-т, 2009. – С. 38-42

41. Евстратова А.В. Влияние конструктивных параметров шнековой лопасти вертикальных винтовых конвейеров на его эксплуатационные показатели. / Евстратова А.В., Олигов Ю.Б., Павлов Е.И. // Прогрессивные технологии в современном машиностроении. Сборник статей V Международной научно-технической конференции. – Пенза, Приволжский Дом знаний, 2009. – С. 68-74.

42. Евстратова А.В. Влияние профиля лопасти шнекового вала на производительность вертикального винтового конвейера / Евстратова А.В.,

Олигов Ю.Б., Павлов Е.И. // Перспективы развития Восточного Донбасса. Сборник науч. тр. по материалам II Международной научно-практической конференции ШИ ЮРГТУ (НПИ) / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т. – Новочеркасск, – УПЦ «Набла» ЮРГТУ (НПИ), 2007. – С. 119-123.

43. Евстратова А.В. Модель движения потока материала в вертикальном винтовом конвейере с рифленой поверхностью корпуса / Евстратова А.В., Олигов Ю.Б., Павлов Е.И. // Перспективы развития Восточного Донбасса. Сборник науч. тр. Шахтинский институт (филиал) ГОУ ВПО ЮРГТУ (НПИ). Часть 2. – Новочеркасск : ЮРГТУ, 2009. 137-143.

44. Макевнин М.П. Исследование движения сыпучих материалов во вращающихся барабанах : дис. ... кандидата техн. наук : 05.04.09 / Макевнин Михаил Петрович . – М., 1963.

45. Трофимов А.В. Исследование движения сыпучих материалов во вращающихся барабанах без внутренних устройств : дис. ... кандидата. техн. наук : 05.05.11 / Трофимов Алексей Владимирович. – М., 1973.

46. Коротич В.И. Движение сыпучего материала во вращающемся барабане / В.И. Коротич // Сталь. – 1962. – № 8. – С. 680-686.

47. Григорьев А.М. Гибкие шнеки / А.М. Григорьев, П.А. Преображенский. – К. : Знание, 1967. – 98 с.

48. Коротич В.И. Анализ движения сыпучего материала во вращающемся цилиндрическом барабане / В.И. Коротич // Горный журн. – 1964. – № 12. – С. 134-141.

49. Конструирование и расчет машин химических производств / под ред. Э.Э. Кольман-Иванова. – М., 1985. – 408 с.

50. Свиридов М.М. Исследование движения сыпучего материала на внутренних устройствах машин с вращающимися барабанами : дис. ... кандидата техн. наук : 05.02.11 / Свиридов Максим Максимович. – М., 1976.

51. Першин В.Ф. Энергетический метод описания движения материала в поперечном сечении гладкого вращающегося цилиндра /

В.Ф. Першин // Теоретические основы химической технологии. – 1988. – Т. 22, № 2. – С. 255-260.

52. Першин В.Ф. Расчет распределения сыпучего материала в гладком вращающемся барабане / В.Ф. Першин // Химическое и нефтяное машиностроение.

53. Першин В.Ф. Машины барабанного типа : основы теории, расчета и конструирования / В.Ф. Першин. – Воронеж : Изд-во ВГУ, 1990. – 168 с.

54. Гольдштик М. Элементарная теория концентрированных дисперсных систем / М. Гольдштик, Б. Козлов // Прикладная механика и техническая физика. – 1973. – № 4. – С. 67-77.

55. Макаров Ю.И. Основы расчета процессов смешения сыпучих материалов. Исследование и разработка смесительных аппаратов : дис. ... доктора техн. наук : 05.17.08 / Макаров Юрий Иванович. – М., 1975.

56. Рахлин З.Н. Исследование работы и расчет барабанных грануляторов : дис. ... кандидат техн. наук : 05.05.05 / Рахлин Захар Николаевич. – М., 1974.

57. Гусев Ю.И. Гранулирование мелкодисперсных материалов в грануляторе барабанного типа : дис. ... кандидата техн. наук : 05.17.01 / Гусев Юрий Иванович. – М., 1967.

58. Першин В. Использование энергетического подхода при определении режимов движения сыпучего материала во вращающемся барабане / В. Першин, Г. Минаев // Теоретические основы химической технологии. – 1989. – Т. 23, № 5. – С. 659-662.

59. Першин В.Ф. Использование энергетического метода для описания движения сыпучего материала в трубчатом питателе / В.Ф. Першин, С.В. Барышникова, А.Г. Ткачев // Тезисы докладов междунар. науч-техн. конф. «Холод и пищевые производства». – 1996. – С. 215-219.

60. Першин В.Ф. Экспериментальное исследование характера движения сыпучего материала вдоль оси барабанного смесителя /

В.Ф. Першин, Ю.Т. Селиванов, А.В. Орлов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2002. – Т. 8, № 2. – С. 265-271.

61. Селиванов Ю. Исследование влияние осевого движения на процесс непрерывного смешивания сыпучего материалов во вращающемся барабане / Юрий Селиванов, Владимир Першин // Известия вузов. Химия и химическая технология. – 2003. – Т. 46, вып. 7. – С. 42-45.

62. Барышникова С. Энергетическая теория движения сыпучего материала во вращающемся барабане / Барышникова С., Першин В. // Тезисы интернет-конф. Творчество молодых в науке и образовании. – М. : МГУИЭ, 2003. – Ч. 1. – С. 114-116.

63. Использование вычислительной техники при исследовании движения зернистого материала / В.Ф. Першин, А.А. Ковынев, Д.В. Бабанин, Н.Г. Пунин, А.В. Сапожников // Современные направления теоретических и прикладных исследований . Сборник науч. трудов по материалам междунар. науч.-практ. конф. – Одесса, Черноморье, 2006. – Т. 2. – С. 35-39.

64. Першина С.В. Расчет режима движения зернистого материала в поперечном сечении вращающегося барабана / Першина С.В., Однолько В.Г., Першин В.Ф. // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-21. Сборник трудов XXI Междунар. науч. конф. В 10 т. – Саратов , Изд-во Саратов. гос. техн. ун-та, 2008. – Т. 6. – С. 7-9.

65. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ РФ №2008613905 Программа для расчета параметров распределения сыпучего материала в барабанном вибрационном грохоте Маслов С.В., Мартынова О.В., Савельев А.Ю., Першин В.Ф. Дата регистрации 15.08.08.

66. Гевко Б.М. Технология изготовления спиралей шнеков / Гевко Б.М. – Львов : Вища школа, 1986. – 128с.

67. Гевко Б.М. Винтовые подающие механизмы сельскохозяйственных машин / Б.М Гевко, Р.М. Рогатынский. – Львов : Вища школа, 1989. – 176с.

68. Гевко Б. Оптимизация конструктивных параметров шнековых конвейеров / Богдан Гевко, Роман Рогатынский // Изв. вузов. Машиностроение. – 1989. – №5. – С. 109-114.

69. Гевко І.Б. Гвинтові транспортно-технологічні механізми : розрахунок і конструювання / Гевко І.Б. – Тернопіль : ТДТУ імені Івана Пулюя, 2008. – 307с.

70. Технологічні основи формоутворення спеціальних профільних гвинтових деталей / [ Б.М. Гевко, О.Л. Ляшук, І.Б. Гевко та ін.] – Тернопіль : ТДТУ імені Івана Пулюя, 2008. – 367 с.

71. Лещук Р. Результати експериментальних досліджень гвинтових перевантажувальних механізмів / Р. Лещук, І. Гевко, Р. Комар // Вісник ТДТУ. – 2003. – Т. 8, № 4. – С. 56-61.

72. Гевко І. Синтез змішувачів з гвинтовими робочими органами / І. Гевко, Р. Любачівський, А. Дячун // Вісник Львівського національного аграрного університету : агроінженерні дослідження. – 2012. – № 16. – С. 237-246.

73. Гевко І.Б. Технологічність конструкцій гвинтових транспортно-технологічних механізмів машин / І.Б. Гевко // Науковий вісник Національного аграрного університету. – 2004. – № 73. – С. 348-352.

74. Дячун А. Винтовой конвейер с вращающимся цилиндрическим кожухом / А. Дячун, Р. Грудовой, И. Гевко, М. Гевко // Научные труды Русенского университета «Ангел Кънчев» : Сельскохозяйственная техника и технологии. Аграрные науки и ветеринарная медицина. Ремонт и надежность. – 2012. – Том 51, серия 1.1. – С. 31-35.

75. Рогатинський Р. Модель конструювання і вибору гвинтових конвеєрів з розширеними технологічними можливостями / Р. Рогатинський, І. Гевко // Вісник ТНТУ. – 2012. – № 3 (67). – С. 197-210.

76. Р. Рогатинський Исследование крутных колебаний шнека / Р. Рогатинський, И. Гевко, А. Дячун // Научные труды Русенского университета «Ангел Кънчев»: Сельскохозяйственная техника и технологии.

Аграрные науки и ветеринарная медицина. Ремонт и надежность. – 2012. – Том 51, серия 1.1. – С. 42–46.

77. Рогатинський Р. Оптимізація параметрів гвинтових транспортно-технологічних систем / Р. Рогатинський, І. Гевко, Л. Рогатинська // Вісник ТНТУ. – 2013. – №1 (69). – С. 123–230.

78. Ловейкін В. До розрахунку швидкохідних гвинтових конвеєрів / Вячеслав Ловейкін, Олена Рогатинська // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – Мелітополь, 2004. – Вип. 21. – С. 130-141.

79. Ловейкін В. Оптимізація режимів роботи гвинтових конвеєрів / Вячеслав Ловейкін, Олена Рогатинська // Підйомно-транспортна техніка. – К., 2004. – № 2. – С. 8-15.

80. Оптимізація режимів роботи та конструктивних параметрів вертикальних гвинтових конвеєрів / О.Р. Рогатинська, Ю.В. Дудун, Л.Р. Рогатинська [та ін.] // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка «Механізація сільськогосподарського виробництва», – 2006. – Т. 2, № 44 – С. 258-264.

81. Пилипець М.І. Науково-технологічні основи виробництва навивних заготовок деталей машин : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня доктора техн. наук : спец. 05.03.01 «Процеси механічної обробки, верстати та інструменти» / М.І. Пилипець. – Львів, 2002. – 35с.

82. Рогатинська О.Р. Обґрунтування параметрів навантаження і конструкцій гвинтових конвеєрів : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.05.05 «Піднімально-транспортні машини» / О.Р. Рогатинська. – Тернопіль, 2006. – 20с.

83. Рогатинський Р. Вплив імпульсних сил на крутильні коливання шнека / Рогатинський Р., Гевко І., Дячун А. // Матеріали шістнадцятої наукової конференції ТНТУ ім. І. Пулюя. – Тернопіль, 2012. – С. 62-63.

84. Рогатинський Р. Оптимізація швидкохідних гвинтових конвеєрів за енергоємністю [Електронний ресурс] / Р. Рогатинський, І. Гевко,

О. Рогатинська, Л. Рогатинська // ТНТУ, ELARTU – 2013. – 20 с. – Режим доступу до журн. : <http://elartu.tntu.edu.ua/handle/123456789>.

85. Рогатинський Р.М. Механіко-технологічні основи взаємодії шнекових робочих органів із сировиною сільськогосподарського виробництва : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня доктора техн. наук : спец. 05.20.01 «Піднімально-транспортні машини», 05.05.05 «Механізація сільськогосподарського виробництва» / Р.М. Рогатинський. – Київ, 1997. – 52с.

86. Пат. 64871 Україна, МПК В65G 19/30 Скребковий конвеєр / Д.П. Часов, А.М. Тихонцов; заявник та патентовласник Дніпродзержинський державний технічний університет. – № u201104032 ; заяв. 04.04.2011 ; опубл. 25.11.2011, Бюл. № 22.

87. Михайлов Н.М. Вопросы сушки топлива на электростанциях / Михайлов Н.М. – М. ; Л., 1957. – 152 с.

88. Мамрукова Л.А. Экспериментальное исследование и усовершенствование методики теплового расчета барабанных сушилок : автореф. дис. канд. техн. наук : спец. 05.10.07 «Автоматическое управление и регулирование, управление технологическими процессами» / Л.А. Мамрукова. – М., 1971.

89. Валуйский В.Я. Расчет профиля лопатки барабанной сушилки / В.Я. Валуйский // Химическое и нефтяное машиностроение. – 1973. – № 12. – С. 3–4.

90. Определение рациональных геометрических размеров подъемно-лопастной насадки в барабанных вращающихся печах / Э.В. Любимов, И.Л. Резников, Ю.А. Поляков, Г.Е. Краев // Химическое и нефтяное машиностроение. – 1972. – № 8. – С. 8 – 10.

91. Свиридов М.М. Исследование движения сыпучего материала на внутренних устройствах машин с вращающимися барабанами : автореф. дис. канд. техн. наук : спец. 05.02.13 «Машины, агрегаты и процессы» / М.М. Свиридов. – М., 1976.

92. Першин В.Ф. Исследование, разработка и методика расчета режимных и геометрических параметров машин барабанного типа : дис. ... кандидата техн. наук : 05.04.09 / Першин Владимир Федорович. – М., 1979.

93. Филипов В.А. Интенсификация процесса сушки угольных флотационных концентратов в барабанных газовых сушилках / В.А. Филипов // Обогащение и брикетирование. – 1962. – № 28. – С. 15 – 20.

94. Чемарда Н.А. Об интенсификации работы барабанных сушилок / Н.А. Чемарда, Е.И. Васючков, М.И. Бейлин // Кокс и химия. – 1974. – № 1. – С. 41-43.

95. Porter S.I. The design of rotary driers and collers / S.I. Porter // Trans. Inatn. Chem. Engrs. – 1963. – Vol. 41, № 8. – P. 272 – 280.

96. Schofield F.R. Rotary dries and collers for granular fertilirers / F.R. Schofield, P.C. Glikin // Trans. Inetn. Chem. Engrs. – 1962. – Vol. 40, № 1. – P. I83 – I90.

97. Выгодский М.Я. Справочник по элементарной математике / Выгодский М.Я. – М., 1979. – 335 с.

98. Лыков М.В. Сушка в химической промышленности / Лыков М.В. – М., 1970. – 178 с.

99. Першин В.Ф. Влияние режимных и геометрических параметров барабанного питателя на точность дозирования / В.Ф. Першин, В.Л. Негров // Тез. докл. VIII Всесоюз. науч.-техн. конф. "Новые технологические процессы и оборудование для производства электрических машин малой мощности". – Тбилиси, 1987. – С. 3–4.

100. Макевнин М.П. К вопросу исследования динамики потока сыпучего материала на лопасти вращающейся машины барабанного типа / М.П. Макевнин, В.Ф. Першин, М.М. Свиридов // Процессы и оборудования химических производств. – М., 1975. – С. 60 – 62.

101. А. с. 1742668 СССР, МКИ G 01 N 1/20. Устройство для исследования движения сыпучего материала на лопасти машины

барабанного типа / В.Ф. Першин, В.Л. Негров, Ю.Т. Селиванов (СССР). – № 4823470/26; опубл. 23.06.92, Бюл. № 23. – 4 с.

102. Макевнин М.П. Расчет времени падения частиц сыпучего материала в барабанных сушилках с лопастной насадкой / М.П. Макевнин, В.Ф. Першин, М.М. Свиридов // Химическое и нефтяное машиностроение. – 1984. – № 9. – С. 31-33.

103. Pershin V.F. Determination of mixture inclination to segregation / V.F. Pershin, Y.T. Selivanov, S.V. Barishnikova // Abstracts of Papers World Congress on Particle Technology 3. – Brighton, UK, 1998. – P. 173.

104. А. с. 1162471 СССР, МКИ В 01 F 9/02. Барабанный смеситель / М.П. Макевнин, В.Ф. Першин, М.М. Свиридов (СССР). – № 33618221/23-29; опубл. 23.06.85, Бюл № 23. – 3 с.

105. А. с. 1201639 СССР, МКИ F 26 В 25/16. Насадка сушильного барабана / В.Ф. Першин, М.М. Свиридов, В.И. Солодков. – № 3530481/24-06; опубл. 30.12.85, Бюл. № 48. – 2 с.

106. А. с. 1592023 СССР, МКИ В 01 F 9/02. Аппарат для переработки сыпучих материалов / В.Ф. Першин, В.Л. Негров, Ю.Н. Липидин, Ю.И. Остапенко. – № 4420208/31-26; опубл. 15.09.90, Бюл. № 34. – 4 с.

107. Адигамов К.А. Кинематика работы шнекового конвейера / Касьян Адигамов, Виктор Ширяев // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. – 2000. – №3

108. Евстратов В.А. Шнековые пресса и винтовые конвейеры в промышленности строительных материалов / В.А. Евстратов, Н.Н. Евстратова. – Ростов-на-Дону : СКНЦ ВШ, 2001. – 206 с.

109. Евстратова Н.Н. Закономерности движения пластичного материала в шнековом канале винтового пресса / Евстратова Н.Н., Линник Ю.Н., Юрченко В.И. // Сборник статей VI Всероссийской научно-практической конференции. – Пенза, 2003.

110. Евстратов В.А. Математическое моделирование процесса движения пластичного материала в шнековом питателе / Евстратов В.А.,

Евстратова Н.Н. // Сборник статей II Международной научно-технической конференции. – Пенза, 2006.

111. Евстратов В.А. Повышение эффективности функционирования шнековых питателей Сб. науч. тр. Юж. Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). / В.А. Евстратов, Н.Н. Евстратова. – Новочеркасск : ЮРГТУ, 1999.

112. Катанов Б. Определение закономерностей движения одиночной частицы по шнеку / Б. Катанов, В. Кузнецов // Изв. вузов. Горный журнал – 1972. – №2.

113. Катанов Б. Влияние геометрических погрешностей на транспортирующую погрешность шнека / Б. Катанов, В. Кузнецов // Изв. вузов. Горный журнал. – 1972. – №11.

114. Rimann U. Исследование вертикального шнекового транспортёра, применяемого для уборки зерновых [перевод с немецкого]. / U. Rimann. – Zau Landtechniche. – 1961. – №6.

115. Евстратов В.А. Влияние геометрии шнековой лопасти на эффективность функционирования вертикального винтового конвейера / В.А. Евстратов // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Технические науки. – 2000. – №1.

116. Евстратов В.А. Влияние геометрии шнековой лопасти на производительность шнековых питателей / В.А. Евстратов // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Технические науки. – 2000. – №2.

117. Байбара С.Н. Обоснование параметров однозаходного вертикального шнекового конвейера с двухлопастной загрузкой : дис. ... кандидата техн. наук : 05.02.13 / Байбара Светлана Николаевна. – Шахты, 2008

118. Черненко Г.В. Обоснование параметров вертикального шнекового конвейера с оребренным кожухом для транспортирования сыпучих материалов : дис. ... кандидата техн. наук : 05.12.13 / Черненко Геннадий Владимирович – Шахты, 2010.

119. Адигамов К.А. Определение критической частоты вращения вертикального шнека / К.А. Адигамов, В.В. Ширяев, С.Н. Байбара // Изв. Вузов. Сев.-Кавк. регион. Технические науки. Техника, технология и экономика сервиса. — 2004.

120. Адигамов К.А. Критическая частота вращения вертикального шнека / К.А. Адигамов, С.Н. Байбара, Г.В. Черненко // Вестник Восточно-Украинского национального университета им. В. Даля, Научный журнал. — 2009. — №2 (132).

121. Адигамов К.А. Кинематика вертикального шнекового конвейера с неподвижным кожухом / К.А. Адигамов, В.В. Ширяев, С.Н. Байбара // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Технические науки. Техника, технология и экономика сервиса. — 2004.

122. Адигамов К.А. Проскальзывание материала при его транспортировании вертикальным шнековым конвейером / К.А. Адигамов // В кн.: Новые технологии. Образование и наука. — М.: МГУДТ, — 2000.

123. Адигамов К. Кинематика работы шнекового конвейера / Касьян Адигамов, Виктор Ширяев // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. — 2000. — №3

124. Саутин С.Н. Планирование эксперимента в химии и химической технологии / С.Н. Саутин. — Л., 1975. — 48 с.

125. Адлер Ю.П. Планирования эксперимента при поиске оптимальных условий. Изд. 2-е перер. и доп. / Адлер Ю.П., Маркова Ю.В., Грановский Ю.В. — М. : Наука, 1986. — 325с.

126. Х. Чикс. Основные принципы планирования эксперимента / Х. Чикс. — М. : Наука, 1987. — 216 с.

127. Красовский Г.И. Планирование эксперимента / Г.И. Красовский, Г.Ф. Филаретов — Минск : изд-во БГУ, 1982. — 302 с.

128. Пат. 83441 Україна, МПК В65G 33/14 Шнековий конвеєр / Д.П. Часов, А.М. Тихонцов; заявник та патентовласник Дніпродзержинський

державний технічний університет. – № u201303544 ; заяв. 22.03.2013 ; опубл. 10.09.2013, Бюл. № 17.

129. Постановление Кабинета Министров Украины от 15.08.2005 № 745 «О переходе к единым тарифам на электрическую энергию, отпускаемую потребителям» и постановлением НКРЭ от 24.07.2014 № 1033 «Розничные тарифы на электроэнергию для потребителей (кроме населения) с учетом предельных уровней при постепенном переходе к формированию единых розничных тарифов для потребителей на территории Украины».

130. Тихонцов А.М. Комплексные системы для транспортирования и очистки СОЖ в механических цехах / Тихонцов А.М., Чернышов А.В., Ковалев А.Е., Часов Д.П., Меняйло А.С. // Сборник трудов XVIII международной научно-практической конференции. Том 2. – Харьков, 2010. – С. 301-305.

131. Тихонцов А.М. Анализ работы оборудования для транспортирования отходов механических цехов / Тихонцов А.М., Чернышов А.В., Часов Д.П. // Сборник трудов XIX международной научно-практической конференции. Том 2. – АР Крым, 2011 г. – С. 278-284.

132. Тихонцов А.М. Исследования материалов и характеристик тележечно-скребковых конвейеров для транспортирования металлической стружки / Тихонцов А.М., Гречаник Э.Н., Часов Д.П. // Сборник научных трудов керченского государственного морского технологического университета и днепродзержинского государственного технологического университета. – 2012. – №13 – С. 118-121.

133. Тихонцов А.М. Опис та сутність модернізованого скребкового конвеєра для транспортування стружки та шламу / Тихонцов А.М., Часов Д.П. // Сборник научных трудов керченского государственного морского технологического университета и днепродзержинского государственного технологического университета. – 2013. – №14. – С. 89-92.

134. Часов Д.П. Анализ количественных и качественных показателей производительности модернизированного шнекового конвейера / Д.П. Часов // Вісник національно технічного університету «ХПІ». – 2013 р., – С. 188-193.

135. Часов Д.П. Математическая модель движущей силы шнекового конвейера с дополнительными лопастями / Д.П. Часов // Проблеми математичного моделювання : тез. доп. Міждержавної науково-методичної конф., 28-30 травня 2014 р. – Дніпродзержинськ, 2014. – С. 101-102.

136. Часов Д.П. Влияние угла атаки дополнительной лопасти на движущую силу шнекового конвейера / Д.П. Часов // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія "Технічні науки" : наук. зб. – 2014. – №2(73). – С. 15-21.

137. Тихонцов А.М. Анализ производительности шнекового конвейера с установленной дополнительной лопастью / А.М. Тихонцов, Э.Н. Гречаник, Д.П. Часов // Сборник научных трудов Днепропетровского государственного технического университета (технические науки). – 2014. №2(25). – С. 83-86.

138. Коробочка А.Н. Определение эффективного угла начала движения металлической стружки на дополнительной лопасти шнекового конвейера / А.Н. Коробочка, Д.П. Часов // Metallургическая и горнорудная промышленность. – 2015. №1. – С. 123-125.

ЗАТВЕРДЖУЮ

Ректор ДДТУ

д.т.н., професор Коробочка О.М.

" 28 " серпня 2014р.



### АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

про використання результатів дисертаційної роботи Часова Дмитра Павловича на тему «Обґрунтування параметрів шнекового конвеєра з додатковими лопатями для транспортування стружки» в навчальному процесі ВНЗ «Дніпродзержинський державний технічний університет»

Ми, що підписалися нижче, голова комісії перший проректор, д.т.н., проф. В.М.Гуляєв та члени комісії: зав. каф. «Технології машинобудування», д.т.н., проф. О.М.Тіхонцов, начальник навчального відділу Л.О.Добрик, вчений секретар ДДТУ, к.соц.н., доцент Л.М.Сорокіна склали цей акт про те, що результати науково – дослідницьких робіт за темою кандидатської дисертації Часова Д.П. впроваджені у навчальному процесі ВНЗ «Дніпродзержинський державний технічний університет» при підготовці фахівців-механіків різного освітньо-кваліфікаційного рівня:

1. Розроблена методика експериментального визначення продуктивності процесу транспортування матеріалу шнековим конвеєром з додатковими лопатями.
2. Розроблена методика визначення ефективних параметрів модернізованого конвеєрного транспорту з технічними рішеннями та рекомендаціями щодо їх застосування у різних галузях виробництва впроваджено у лабораторні роботи курсу «Проектування машинобудівних заводів», що викладається на кафедрі «Технології машинобудування» ДДТУ та включено у надруковані в університеті методичні вказівки:

*Методичні вказівки до практичного заняття «Визначення продуктивності шнекового конвеєра з додатковими лопатями» з дисципліни «Проектування машинобудівних заводів» для підготовки освітньо-кваліфікаційного рівня «спеціаліст, магістр» за напрямками 7(8).05050201 «Інженерна механіка», 7(8).05050301 «Машинобудування» усіх форм навчання/ Укл. д.т.н., професор Коробочка О.М., асистент Часов Д.П. – Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2014. – 18с.*

Голова комісії:

Перший проректор, д.т.н., проф.

В.М.Гуляєв

Члени комісії:

зав. каф. «Технології машинобудування», д.т.н., проф.

О.М.Тіхонцов

начальник навчального відділу

Л.О.Добрик

вчений секретар ДДТУ, к.соц.н., доцент

Л.М.Сорокіна

**ЗАТВЕРДЖУЮ:**

Директор ПП «ТВА СКІФ»

Бердяєв І.І.

" 21 " листопада 2013р.

**АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ**

результатів дисертаційної роботи Часова Дмитра Павловича  
на тему «Обґрунтування параметрів шнекового конвеєра з додатковими лопатями для  
транспортування стружки»

Ми, що підписалися нижче, голова комісії директор з розвитку Гальцев В.В. та члени комісії: начальник цеху Сорокін В.Г., інженер-технолог Дробушев М.П. і бухгалтер Малишко С.В. склали цей акт про впровадження у виробництво технологічного процесу виготовлення сухих клейових сумішей, а саме:

1. Технічні рішення й рекомендації, щодо застосування додаткових лопатей на шнекових конвеєрах для транспортування сухих клейових сумішей фракційністю 2-4 мм, дозволили збільшити продуктивність процесу транспортування на 30-40% та зменшити енергоємність на 25-30%.
2. Використані методика та практичні рекомендації для розрахунку конструктивних параметрів шнекових конвеєрах з додатковими лопатями для транспортування технологічних сумішей дозволили отримати річний економічний ефект з одного модернізованого шнекового конвеєру 1860 грн. Враховуючі виробничі потужності підприємства, сумарний економічний ефект від впровадження результатів дисертаційної роботи у технологічний процес виготовлення сухих клейових сумішей фракційністю 2-4 мм складає 11160 (одинадцять тисяч сто шістдесят гривень).

Голова комісії:

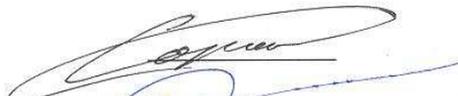
Директор з розвитку



В.В. Гальцев

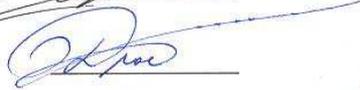
Члени комісії:

начальник цеху



В.Г. Сорокін

інженер-технолог



М.П. Дробушев

бухгалтер



С.В. Малишко





### АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

результатів дисертаційної роботи Часова Дмитра Павловича  
 на тему «Обґрунтування параметрів шнекового конвеєра з додатковими лопатями для  
 транспортування стружки»

Ми, що підписалися нижче, голова комісії головний інженер Максимів Ф.І. та члени комісії: майстер цеху Волк О.В., начальник СТКіМ Малофеева І.Ю. і головний бухгалтер Сокол Н.А. склали цей акт про впровадження у виробництво технологічного процесу виготовлення фланцевих з'єднань, а саме:

1. Технічні рішення й рекомендації, щодо застосування додаткових лопатей на шнекових конвеєрах для транспортування стружки, дозволили збільшити продуктивність процесу транспортування відходів виробництва на 30-40% та зменшити енергоємність на 25-30%.
2. Використані методика та практичні рекомендації для розрахунку конструктивних параметрів шнекових конвеєрів з додатковими лопатями для транспортування металеві стружки дозволили отримати річний економічний ефект з одного модернізованого шнекового конвеєру 1910 грн. Враховуючі виробничі потужності підприємства, сумарний економічний ефект від впровадження результатів дисертаційної роботи у технологічний процес виготовлення фланцевих з'єднань складає 31460 (тридцять одна тисяча чотириста шістьдесят гривень).

Голова комісії:  
 Головний інженер

Ф.І. Максимів

Члени комісії:  
 Майстер цеху

О.В. Волк

Начальник СТКіМ

І.Ю. Малофеева

Головний бухгалтер

Н.А. Сокол

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Проректор з АГР  
Самарець Т.М.

"16" 09 2014 р.



## А К Т

### випробування шнекового конвеєра у лабораторії 033 кафедри ТМ

Комісія у складі:

Голова комісії - головний інженер

Члени комісії: - головний механік  
- зав. лаб. каф. ТМ  
- начальник ВОП

Женилов В.В.

Полюлях А.А.

Шушура М.В.

Бараннік С.В.

Провели випробування шнекового конвеєра з додатковими лопатями, призначеного для переміщення металевої стружки.

В конвеєр було покладено матеріал (металева стружка) у кількості необхідній для наповнення жолоба на 30% для випробування. В ході перевірки переміщувана стружка не опинилася за межами жолоба, лопаті не змінили встановлений кут атаки, привід працював рівно та без вібрацій, жодних помилок не виявлено.

#### Висновок:

Випробування показали, що шнековий конвеєр з додатковими лопатями, розташований у лабораторії 033 кафедри ТМ, придатний до подальшої експлуатації.

Голова комісії:

В.В. Женилов

Члени комісії:

А.А. Полюлях

М.В. Шушура

С.В. Бараннік



## НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

**№ 64871**

### СКРЕБКОВИЙ КОНВЕСЕР

Видано відповідно до Закону України "Про охорону прав на винаходи і корисні моделі".

Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі **25.11.2011.**

Голова Державної служби  
інтелектуальної власності України

М.В. Паладій



(11) **64871**(19) **UA**(51) МПК  
B65G 19/30 (2006.01)(21) Номер заявки: **u 2011 04032**(22) Дата подання заявки: **04.04.2011**(24) Дата, з якої є чинними  
права на корисну модель: **25.11.2011**(46) Дата публікації відомостей  
про видачу патенту та  
номер бюлетеня: **25.11.2011,  
Бюл. № 22**(72) Винахідники:  
**Часов Дмитро Павлович, UA,  
Тіхонцов Олександр  
Михайлович, UA**(73) Власник:  
**ДНІПРОДЗЕРЖИНСЬКИЙ  
ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ,  
вул. Дніпробудівська, 2, м.  
Дніпродзержинськ,  
Дніпропетровська обл., 51918,  
Україна, UA**

(54) Назва корисної моделі:

**СКРЕБКОВИЙ КОНВЕЄР**

(57) Формула корисної моделі:

Скребковий конвеєр, що містить жолоб для переміщення вантажу, тяговий робочий орган зі скребками, привідний та натяжний механізми, виконані у вигляді зірочок, який відрізняється тим, що зірочки розташовані симетрично відносно горизонтальної осі конвеєра, двигун, привідний та натяжний механізми встановлені послідовно на горизонтальній осі конвеєра, при цьому двигун закріплений на опорній плиті, яка встановлена з можливістю переміщення уздовж цієї осі, а над двигуном та привідним механізмом встановлений захисний кожух.

УКРАЇНА



# ПАТЕНТ

НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

№ 83441

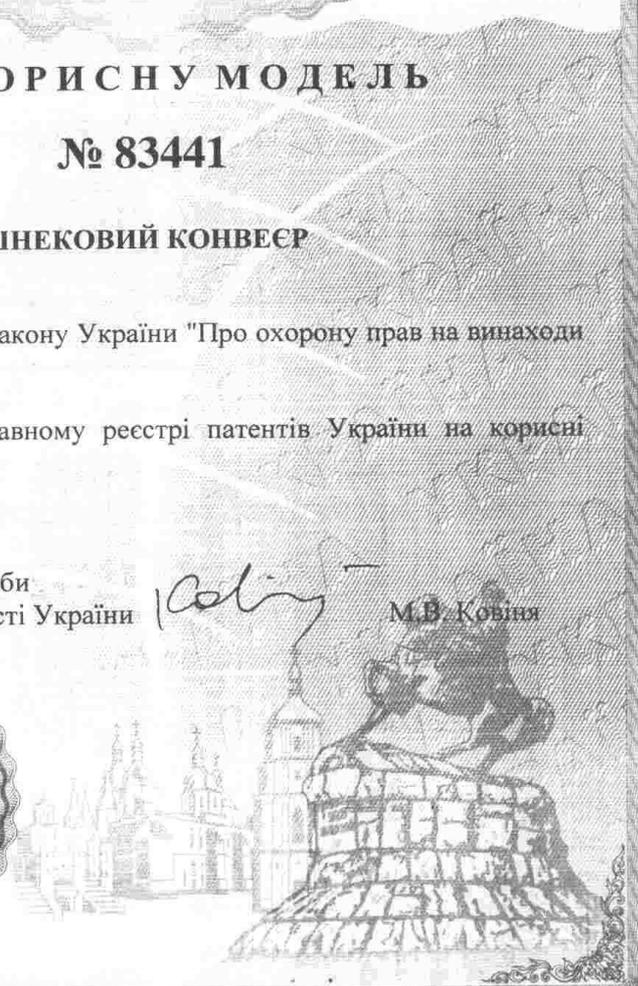
ШНЕКОВИЙ КОНВЕЄР

Видано відповідно до Закону України "Про охорону прав на винаходи і корисні моделі".

Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі **10.09.2013**.

Голова Державної служби інтелектуальної власності України

М.В. Ковина





УКРАЇНА

 (19) **UA** (11) **83441** (13) **U**  
 (51) МПК  
**B65G 33/14** (2006.01)

 ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
 ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
 ВЛАСНОСТІ  
 УКРАЇНИ

**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ**

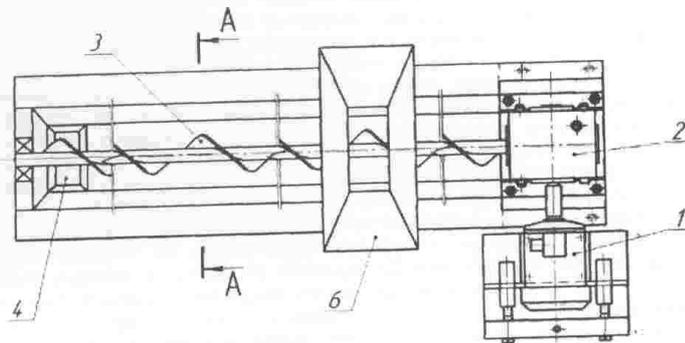
(21) Номер заявки: **u 2013 03544**  
 (22) Дата подання заявки: **22.03.2013**  
 (24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: **10.09.2013**  
 (46) Публікація відомостей про видачу патенту: **10.09.2013, Бюл.№ 17**

(72) Винахідник(и):  
**Часов Дмитро Павлович (UA),**  
**Тіхонцов Олександр Михайлович (UA)**  
 (73) Власник(и):  
**ДНІПРОДЗЕРЖИНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ**  
**ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ,**  
 вул. Дніпробудівська, 2, м.  
 Дніпродзержинськ, Дніпропетровська обл.,  
 51918 (UA)

**(54) ШНЕКОВИЙ КОНВЕЄР**

(57) Реферат:

Шнековий конвеєр містить бункер із завантажувальним люком, вал зі шнеком, корпус з розвантажувальним люком та привід. На робочій спіральній поверхні шнека розміщено лопаті у кількості трьох на один оберт-крок, які виконані у вигляді плоских поверхонь довжиною, рівною висоті спіралі шнека, та встановлені з можливістю регулювання кута атаки.



Фіг. 1

UA 83441 U