

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Инженерно-строительный институт
Кафедра строительные материалы и технологии строительства

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой


И.В. Игнатьев
Подпись инициалы, фамилия

« 26 » 06 20 17 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Совершенствование процесса формирования изделий

тема


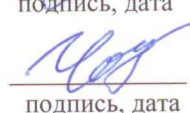
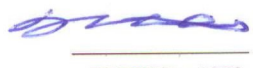

кассетной установкой вертикального типа

08.04.01 Строительство

код и наименование направления

08.04.01.00.07 Комплексная механизация и автоматизация строительства

код и наименование магистерской программы

Научный руководитель	 подпись, дата	<u>доцент, к.т.н.</u> должность, ученая степень	<u>Е.С. Турышева</u> инициалы, фамилия
Выпускник	 подпись, дата		<u>Д.В. Чашин</u> инициалы, фамилия
Рецензент	 подпись, дата	<u>профессор, д.т.н.</u> должность, ученая степень	<u>В.И.Иванчура</u> инициалы, фамилия
Нормоконтролер	 подпись, дата	<u>доцент, к.т.н.</u> должность, ученая степень	<u>Е.С. Турышева</u> инициалы, фамилия

Красноярск 2017

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «Совершенствование процесса формования изделий кассетной установкой вертикального типа» содержит 93 страницы текстового документа, 3 приложения, 63 использованных источников.

КАССЕТНАЯ УСТАНОВКА, ВЕРТИКАЛЬНАЯ ФОРМА-КАССЕТА, ПРОГРАММА, ОБЪЕКТ, ИНФОРМАЦИЯ, ИСПЫТАНИЯ, РАБОЧИЙ ПРОЦЕСС, РАСЧЕТНАЯ СХЕМА ПРОЦЕССА, РЕКОМЕНДАЦИИ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ.

Объект исследования – кассетная установка вертикального типа.

Предмет исследования – процесс формования ЖБИ

Цель: изучить процесс производства изделий кассетной установкой и сделать его более технологичным.

Задачи:

- проанализировать рабочий процесс кассетной установки;
- выполнить математическое описание объекта управления;
- провести экспериментальные исследования и выполнить анализ колебательного процесса кассетной установки
- разработать имитационную модель объекта управления и системы управления в среде MATLAB&Simulink;

В результате проведения исследования была определена система автоматизированного управления, установлены характеристики кассетной установки, выявлены основные проблемы производства ЖБИ.

В итоге был разработан ряд рекомендаций и предложений. В качестве технической реализации одного из перспективных предложений произведен расчет и создана программа автоматизированного управления.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	5
1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ И ХАРАКТЕРИСТИКА КАССЕТНОЙ УСТАНОВКИ ВЕРТИКАЛЬНОГО ТИПА.....	7
1.1 Характеристика объекта исследования.....	7
1.2 Эксплуатация кассетных установок	12
1.3 Патентный обзор.....	21
Выводы	24
2 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМОВАНИЯ.....	26
2.1 Виброколебания формовочной установки.....	26
2.2 Моделирование виброзащиты подъемного механизма.....	37
2.3 Влияние вибрационного поля на динамику подъемного механизма.....	40
Выводы	48
3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	49
3.1 Задачи, методика проведения экспериментальных исследований.....	49
3.2 Анализ колебательного процесса кассетной установки.....	52
Выводы	56
4 СОЗДАНИЕ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА ФОРМОВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ.....	57
4.1 Имитационная модель модели в среде программы MATLAB&Simulink.....	57
4.2 Исследование модели системы автоматического управления	59
4.2.1 Анализ устойчивости САУ на основе критерия Найквиста.....	61
4.2.2 Анализ качества регулирования линейной системы.....	62
4.3 Исследование имитационной модели процесса виброформования изделий.....	62

Выводы	68
Заключение.....	69
Список использованных источников.....	70
Приложение А. Список условных обозначений.....	77
Приложение Б. Список сокращений.....	79
Приложение В. Публикации.....	80

ВВЕДЕНИЕ

В нашей стране быстрыми темпами развивается технология строительства. И поэтому сегодня к качеству железобетонных изделий предъявляются высокие требования. В первую очередь качество плоских панелей определяют точность и гладкость поверхности, т.к. панели не требуют дальнейшей доработки. Особенно точность и гладкость поверхности важны при изготовлении внутренних перегородок зданий. Достичь такого результата возможно при помощи вертикального формования в кассетной машине.

Большой опыт изготовления железобетонных изделий показывает, что по сравнению с другими способами производства, кассетная технология обеспечивает повышенную производительность труда, требует небольших производственных площадей и снижает расход теплоносителей и электроэнергии. Если оснастить предприятия по производству железобетона кассетными установками, то возможно осуществление непрерывного производственного процесса.

Снизить расход цемента, арматурной стали, уменьшить трудоемкость за счет снижения численности рабочих, снизить энергетические затраты на производстве позволяет использование кассетных установок

Но все же действующие кассетные установки имеют и недостатки: расслоение бетонной смеси из-за ее неравномерного вибрирования и высокий уровень шума и вибрации.

Но при всех своих достоинствах кассетная установка нуждается в совершенствовании технологичности процесса виброформования.

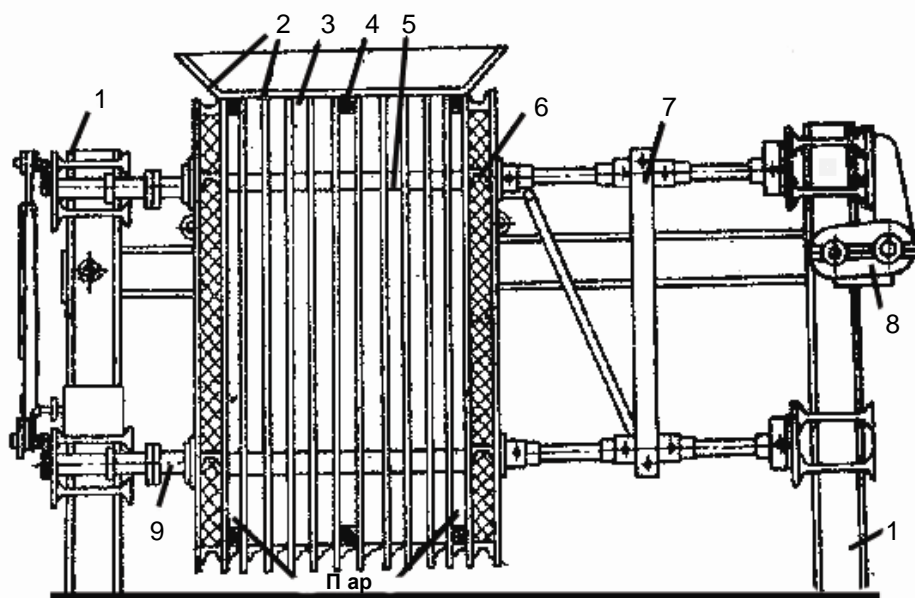
Данная тема актуальна и может представлять интерес, как для специалистов в области строительства, так и для широкого круга общественности.

1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ И ХАРАКТЕРИСТИКА КАССЕТНОЙ УСТАНОВКИ ВЕРТИКАЛЬНОГО ТИПА

1.1 Характеристика объекта исследования

Стационарные, разъемные, вертикально установленные формы-кассеты из металла или железобетона, предназначенные для формования и подвергания тепловой обработке панелей внутренних стен, перекрытий, лестничных маршей и площадок, балконных плит и других изделий, называются кассетными установками.

Кассеты состоят из станины, механизмов перемещения, дожима и распорных рычагов. Форма-кассета состоит из ряда отсеков, образованных стальными вертикальными стенками, при этом отсеки, используемые для формования бетона, чередуются с отсеками для пара (паровая рубашка). Крайние отсеки теплоизолируют (рисунок 1.1).



- 1 - станина; 2 - разделительная стенка; 3 - отсек для формования панелей;
4 - отсек для пара; 5 - фиксирующие упоры; 6 - крайняя утепленная стенка;
7 - механизм сжатия кассеты; 8 - привод; 9 - упорный дожимной винт

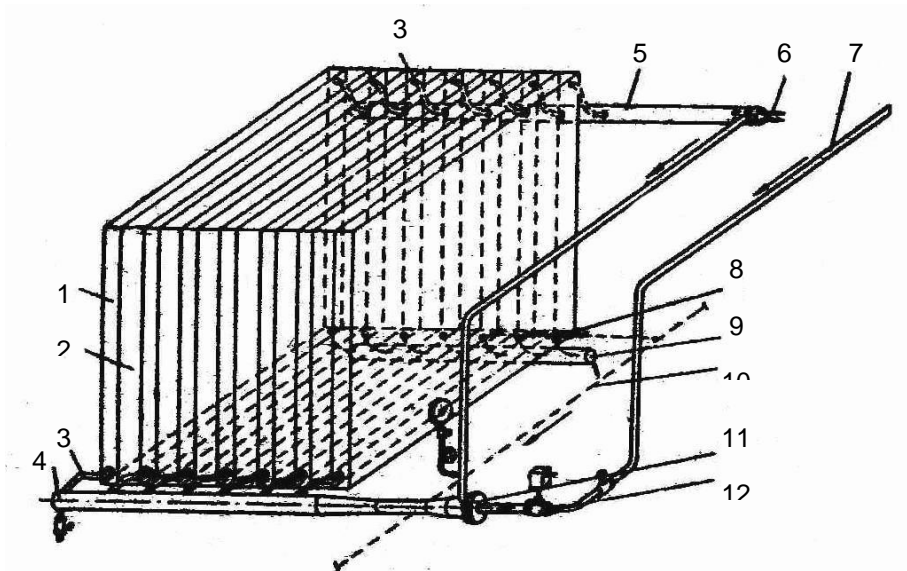
Рисунок 1.1 - Механизированная кассетная установка

Разделительные стенки по своей конструкции могут быть гибкими (из металлических листов толщиной 24 мм) или жесткими (в виде пространственных металлических коробов). К стенкам присоединяются борта из уголков, которые образуют торцевые стенки и днище отсеков. Собирают и разбирают отсеки при помощи специального устройства, а извлекают изделия из отсеков – мостовым краном. С помощью вибраторов, укрепленных по бокам наружных и в торцах внутренних стенок, производят уплотнение бетонной смеси в кассете.

За счет многократной циркуляции пара, паровоздушной смеси, горячей воды и др., а также устройства узких тепловых отсеков с зигзагообразными перегородками происходит интенсивная теплоотдача греющей среды. При этом теплоноситель не должен загрязнять стенок отсеков, так как это приведет к снижению коэффициента теплоотдачи. Также для повышения коэффициента теплоотдачи необходимо из нижней части тепловых отсеков постоянно удалять конденсат.

Тепловые отсеки рассчитаны на давление до $0,12\text{--}0,15 \text{ МН/м}^2$. Если давление будет большим, то это потребует значительного увеличения расхода металла. В железобетонных кассетных установках давление пара достигает $0,2 \text{ МН/м}^2$.

Пространство и стенка теплового отсека необходимо нагревать равномерно. Если пара в тепловом отсеке будет недостаточно, то это приведет к расслоению среды (скоплению пара высокой температуры в верхней зоне отсека и менее нагретого – в нижней). Эжекторная система пароснабжения позволяет тщательно перемешивать пар с воздухом и создавать паровоздушную смесь одинаковой температуры по высоте кассеты (рисунок 1.2).



- 1 - паровая рубашка; 2 - изделие; 3 - резиновый шланг; 4 - коллектор на вводе пара;
 5 - отсасывающий коллектор; 6 - датчики температуры; 7 - паропровод;
 8 - обратный клапан; 9 - сборник конденсатора; 10 - конденсатопровод; 11- эжектор;
 12 - регулирующий клапан

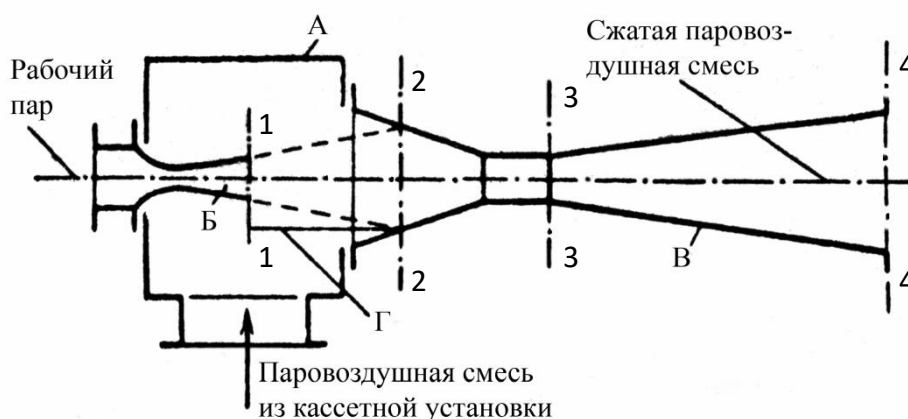
Рисунок 1.2 - Схема эжекторного пароснабжения кассеты

В качестве теплоносителя в эжекторном пароснабжении кассеты служит паровоздушная смесь, которая должна быть значительно меньшей температуры, чем чистый насыщенный пар. Получают теплоноситель за счет смешивания чистого насыщенного пара с воздухом и паровоздушной смесью, которую отсасывают из верхней зоны теплового отсека специальным коллектором. Применение такой эжекторной системы позволяет не только снизить расход чистого насыщенного пара, но и автоматически регулировать режим тепловой обработки по средней температуре паровоздушной смеси в коллекторе.

Паровоздушная смесь образуется в пароструйном эжекторе, который состоит из следующих основных частей: корпуса А, образующего приемную камеру, в которую поступает паровоздушная смесь, отсасываемая из паровых рубашек кассетной установки; рабочего сопла Б, монтируемого в приемной камере, и примыкающего к ней диффузора В. Рабочее сопло может быть сужающимся или расширяющимся в зависимости от отношений давлений

в выходном сечении рабочего сопла к начальному. Если это отношение больше критического, тогда сопло должно быть суживающимся, а если меньше, тогда расширяющимся. Диффузор образуется двумя обратными конусами с переходной цилиндрической частью. И диффузор и рабочее сопло должны располагаться строго по одной оси.

Объем, в котором смешивают рабочий пар и отсасываемую паровоздушную смесь, называют камерой смешения. Сразу по выходе сопла начинается камера смешения Г в сечении 1-1. Ее конец — начало камеры сжатия в сечении 2-2. В сечении 4-4 конец камеры сжатия. Переход цилиндрического участка диффузора к расходящемуся конусу диффузора в сечении 3-3 (рисунок 1.3).



А - корпус; Б - рабочее сопло; В - диффузор; Г - камера смешения

Рисунок 1.3 – Схема пароструйного эжектора

Изготовление изделий в кассетных формах позволяет обеспечить достаточно высокую точность сборных деталей и относительно хорошее качество поверхности. Формование изделий в вертикальном положении по сравнению с формованием в горизонтальных формах позволяет сократить производственные площади. Готовые изделия при таком способе формования имеют гладкие поверхности, почти не нуждающиеся в исправлениях, а отклонение от геометрических размеров не будет превышать 1-5 мм по

толщине и 5 мм по длине. Данный способ формования позволяет отказаться отвиброплощадок, бетоноукладчиков, сложных быстроизнашивающихся форм и пропарочных камер.

При изготовлении изделий в вертикальном положении требуется меньше арматуры, и панели можно перевозить при распалубочной прочности бетона, т.е. $0,5R_b$.

Тепловлажностная обработка массы сформованного бетона состоит из двух этапов: первый этап – прогрев, второй – изотермическая выдержка, после которой кассету разбирают, а изделие вынимают из опалубки. Масса сформованного бетона находится в кассете в замкнутом пространстве, что в свою очередь способствует более быстрой тепловлажностной обработке. Открытой является небольшая часть поверхности – 1,5-6 %. А это позволяет, не опасаясь быстрого испарения влаги, образования трещин, применять интенсивную тепловую обработку бетона. Температура бетона в кассетных установках достигает 100 С, а в обычных камерах ямного типа она не превышает 85 - 90 С. Изделие в кассетах не охлаждают. Тепловая обработка бетона в кассетах составляет 6 - 8 ч, что позволяет производить изделия с прочностью 50 - 60 % проектной.

В кассетных установках железобетонные изделия подвергают контактному нагреву, так как тепло передается изделиям от паровоздушной среды через металлические стенки паровых рубашек. На продолжительность тепловой обработки бетона влияет толщина прогреваемого изделия, расположение тепловых отсеков, температура теплоносителя, состав бетона и вид применяемого цемента. Чтобы сократить время прогрева бетона и быстроту подъема температуры, пар в кассеты подают одновременно с началом формования изделий. В редких случаях кассеты заполняют бетонной смесью, предварительно прогретой до 35...40 С. Вибрация, происходящая во время заполнения кассетной формы смесью, способствует передаче тепла от разделительных стенок на всю толщину изделия. А это приводит к тому, что к концу формования температура бетона уже успевает подняться до 60...65 С,

и затем в течение 1...1,5 ч до 95...100 С. Даже после прекращения подачи пара кассета имеет большую теплоемкость, что способствует медленному остыванию изделия, а из-за этого оборачиваемость форм снижается. Для ускорения остывания панелей используют принудительное охлаждение стенок кассет водой, направляемую в паровые отсеки формы после прекращения подачи пара.

1.2 Эксплуатация кассетных установок

Кассетные установки отличаются высокой производительностью. Съем продукции с 1 м² участка, занятого ими, при коэффициенте оборачиваемости 2 составляет до 80 м³ / год. Недостатками кассетного способа следует считать

- высокую металлоемкость форм,

- большие затраты ручного труда,
- необходимость применения подвижной смеси, приводящую к перерасходу цемента,

- большой разброс прочности бетона по сечению и площади изделия, который может достигать 30 % среднего его значения,

- трудность механизации и автоматизации процесса.

Кассетная установка представляет собой ряд металлических пустотелых вертикальных щитов и разделительных стенок, поверхности которых служат опалубкой для железобетонных панелей. В пустотелые щиты, т.е. паровые отсеки, для контактного обогрева отформованных панелей подают пар. Для его распределения по отсекам применяют коллектор с гибкими шлангами.

Для лучшего последовательного определения различных элементов, применяют кассетную установку ламп с полым катодом.

Эксплуатация кассетных установок доказала, что этот способ по сравнению с изготовлением изделий в горизонтальном положении имеет ряд преимуществ. Он позволяет получать изделия высокоточных размеров и

хорошими по качеству поверхностями. При формировании в кассетах основная масса бетона находится в замкнутом пространстве, что позволяет обеспечить более жесткий режим тепловлажностной обработки и таким образом ускорить набор прочности бетоном. А поскольку изготовление, транспортировка и хранение стеновых панелей производят в вертикальном положении, то отпадает необходимость в дополнительном их армировании и позволяет транспортировать изделия с распалубочной прочностью около 50 % от проектной. Также данный способ формирования обеспечивает более высокую производительность труда при изготовлении и отделке изделий, требует меньше пара и электроэнергии. Но способ кассетной технологии имеет и свои недостатки:

- повышенный расход цемента для получения пластичных смесей,
- высокая удельная металлоемкость форм и оборудования.

Использование кассетной установки, предлагаемой конструкции, при четкой фиксации разделительных перегородок в горизонтальном направлении позволяет обеспечивать равномерное распределение колебаний в бетонной смеси, способствуя повышению качества уплотняемой бетонной смеси и упрощению процесса эксплуатации за счет образования шарнирного соединения бортоснастки с перегородками и облегчения процесса очистки конструкции после рабочего цикла.

Существующие кассетные установки для изготовления бетонных смесей имеют и свой недостаток. Таковыми является неравномерное вибрирование бетонной смеси, приводящее к ее расслоению.

Благодаря хорошей тепловой изоляции всех поверхностей, в том числе верхней, обычно открытой, достигается экономия тепла в кассетных установках.

При других методах уплотнения также рекомендуется послойная загрузка смесей в кассетную установку (3 - 4 приема) с вибрационной отработкой каждого укладываемого слоя. Если правильно организовать подачу бетонной смеси в формы и ее уплотнение, то длительность этой

операции не будет превышать 30 - 50 мин. Верхнюю поверхность отформованных изделий заглаживают, а затем покрывают крышками или полимерными пленками.

Возможность подъема температуры с большой скоростью ($60 - 70 \text{ C}^0 / \text{ч}$), отказ от предварительной выдержки изделий, благоприятные условия формирования структуры бетона при его прогреве в замкнутом пространстве, обеспечивающие повышение его прочности на 10 - 20% по сравнению с пропаренными в обычных камерах бетонами - достоинства контактного обогрева бетона в кассетных установках. Контактный обогрев в кассетах имеет недостаток, обусловленный особенностями теплообмена, связанного с конденсацией пара в тепловых отсеках.

Наружное вибрирование уплотняет бетонные смеси в кассетных установках. Вибраторы в них крепят к бортам разделительных стенок кассет, расположенных между двумя формовочными отсеками.

Доказано, что прочность бетона при производстве изделий в кассетных установках выше прочности бетонных кубов. А при тепловой обработке изделий в ямных камерах твердения прочность бетона в кубах наоборот оказывается выше прочности бетона в изделиях. Обычно контрольные кубы изготавливают и твердеют совместно с железобетонными изделиями. Результаты испытаний контрольных кубов позволяют определить длительность процесса тепловой обработки изделий, с которой связана производительность технологической линии и качество изделий.

Панели внутренних стен, перекрытий и перегородок изготавливают на участке в кассетных установках, которые состоят из кассетной формы и машины для сборки и распалубки кассет. Панели наружных стен изготавливают на поточной линии, которая оснащена формами, приводом для их передвижения, виброплощадкой для уплотнения смеси, бетоноукладчиком и ямными камерами 8 для тепловой обработки изделий. Доборные изделия, т.е. лестничные марши и площадки, вентиляционные блоки и др., изготавливаются на линии 2 на формовочной установке, в состав которой

входит виброплощадка, или в стационарных формах с навесными вибраторами для уплотнения смеси и паровыми рубашками для тепловой обработки.

После окончания бетонирования верхние поверхности изделий заглаживают заподлицо с кромками стенок и затем очищают кассетную установку от бетонной смеси. После чего в тепловые отсеки подают пар и в соответствии с принятым режимом производят тепловую обработку.

Формы могут быть горизонтальными разборными с запариванием изделий в автоклавах в вертикальном положении, а также вертикальными в виде кассетных установок.

Электропрогрев изделий в кассетах имеет ряд преимуществ по сравнению с паропрогревом. При электропрогреве улучшаются условия труда из-за отсутствия парения; повышается производительность кассетных установок за счет сокращения цикла твердения и ликвидации тепловых отсеков, переоборудуемых в рабочие. Новместе с этим организация электропрогрева связана со значительными трудностями по электроизоляции арматурных каркасов и подключению разделительных стенок к электросети. Также при электронагреве необходим ряд сложных предохранительных мер для обеспечения безопасных условий работы. В каждом отдельном случае применение электропрогрева должно быть экономически обосновано.

Производственную мощность предприятий сборного железобетона (конструк - VNU и деталей) можно рассчитать на основе следующих данных: при поточно-агрегатной схеме производства - на основе данных о количестве формовок в час и средневзвешенного объема одновременно формируемых изделий; при конвейерной схеме производства - на основе данных о площади всех форм-вагонеток, сходящих с конвейера в час, и загрузке их изделиями на площади вагонеток; при кассетном способе производства - исходя из объема изделий при одновременной загрузке всех отсеков одной установки, ее оборачиваемости в сутки, коэффициента заполнения кассет и количества кассетных установок; при вибропркатном способе производства

- на основе данных о скорости и ширине формирующей ленты прокатного стана с учетом коэффициента использования ее площади, средней высоты изделий и количества прокатных станов; при стандовой схеме производства - с учетом данных о формовочной площади всех стандов, загрузке на 1 м² их площади в м изделий и длительности одного оборота станда в сутках.

При кассетном способе, который является разновидностью стандового, изделия изготавливают в вертикальных формах-кассетах, представляющих ряд отсеков, образованных стальными стенками. В кассетной установке происходит и формование изделий и их твердение. Кассетная установка имеет специальные устройства для обогрева изделий паром или электрическим током, а это значительно ускоряет твердение бетона.

Кассетные установки и горизонтальные термоформы работают по принципу контактного обогрева, при котором обогрев происходит через плотные непроницаемые перегородки. Теплоносителем служат пар, газ, горячая вода, петролатум. В кассетах изготавливают плоские изделия для жилищного строительства, а в горизонтальных термоформах - стеновые панели из легких бетонов на пористых заполнителях.

Затем кассету заполняют бетонной смесью, которая уплотняется при формовании изделий за счет вибрации. Вибрация, в зависимости от конструкции кассетной установки, может передаваться на бетонную смесь через арматурный каркас, виброгребенку, за счет вибрации внутренних разделительных стенок, а также днища кассетной формы.

Шесть термоформ с помощью пакетировщиков набирают в пакеты каждый высотой 1,5 - 2 м, обеспечивая таким образом двухсторонний прогрев изделий и сокращение продолжительности тепловой обработки. Термоформы позволяют обеспечить более равномерный прогрев изделий нежели чем кассетные установки, и в отличие от последних в них формовать изделия большей толщины. Термоформы применяют, как правило, при изготовлении крупноразмерных предварительно напряженных железобетонных изделий.

Для ускорения выпуска железобетонных изделий сокращают время их тепловой обработки. Такой метод применяют как правило при кассетной технологии для получения двух оборотов кассетных установок в сутки. Это ведет и к повышению расхода цемента на 5 - 15 % и даже более. В этом случае экономии цемента можно достичь за счет применения двухстадийной технологии. Данная технология позволяет нагреть изделие до распалубочной прочности в кассетах, а затем выдержать в камере дозревания. Уменьшить время тепловой обработки можно с помощью пропаривания изделий в малонапорных пропарочных камерах. Прочность бетона свыше 20 МПа можно получить за 5,5 ч тепловой обработки при температуре 105 С⁰, при этом уменьшить расход пара до 120 - 130 кг, тогда как расход пара в обычных условиях составляет 450 кг.

Для кассетного способа производства характерно получение стандартных плоских изделий небольшой толщины в вертикальном положении пакетами по 2 - 14 шт, в специальных установках - кассетах. Данным способом получают внутренние стеновые панели, перегородки, плиты перекрытий и др. Кассетные установки не требуют больших производственных площадей, но имеют гораздо более высокую производительность. Получают изделия в кассетах таким образом. В первую очередь выполняют распалубку полученных изделий, для этого открывают замок подвижной стенки и отсоединяют ее от основного пакета форм. Мостовым краном вынимают изделие из первого формовочного отсека и ставят эту стенку в начальное состояние, присоединяя ее к первой разделительной стенке. Далее вместе с ней подвижную стенку убирают, освобождая второй формовочный отсек, и так повторяют до полного удаления изделий из кассеты. Чистят, смазывают, устанавливают арматурный каркас с последнего освободившегося отсека и последовательными операциями отсоединяют и присоединяют разделительные стенки до сборки всей кассеты. Бетонную смесь подают в

формовочные отсеки сверху и уплотняют с помощью навесных вибраторов. После проведения тепловой обработки цикл повторяют.

В отличие от распространенных конвейерных линий кассетно-конвейерные линии дают возможность формовать и проводить тепловую обработку изделий в различных положениях с циклическим передвижением форм по предложенному темпу вдоль технологической линии. Очистку, смазку, установку и закрепление положения арматурных каркасов разделительных стенок кассет можно выполнять на специальных пунктах за пределами кассетной установки в разных положениях, что позволяет достичь лучших условий труда и механизировать трудоемкие процессы. Изделия получают разными способами и на определенных пунктах с использованием агрегатов для укладки и уплотнения менее подвижной смеси. Кассетно-конвейерные линии небольшие, но по конструкции они сложнее конвейерных и требуют более точного выполнения технологического процесса и высокой культуры производства.

На строительных площадках и заводах железобетонных изделий для большинства технологических процессов характерны шум и вибрация, которые являются результатом отсутствия или неправильного проектирования вибро - и шумо-защитных устройств, нарушений правил эксплуатации механического оборудования, недостаточной балансировки вращающихся деталей и др. Характерные для строительства и заводов железобетонных изделий источники шума и вибрации можно выделить в следующие группы:

- 1) передвижные строительные машины - экскаваторы, бульдозеры, катки, башенные, мостовые и автомобильные краны, копровые установки с дизель-молотами и электровибраторами, передвижные компрессорные установки;

- 2) машины для приготовления, распределения и виброуплотнения бетонной смеси - бетоносмесители, дозаторные устройства, раздаточные бункера с навесными электровибраторами, виброплощадки,

бетоноукладчики, установки для виброформования многопустотных изделий, кассетные установки с навесными вибраторами и др.;

3) ручной механизированный инструмент с электро- и пневмоприводом.

При кассетном способе, являющемся разновидностью стендового, изделия производят в вертикальных формах-кассетах, представляющих ряд отсеков, образованных стальными стенками. В кассетной установке происходит формование и отверждение изделий. Кассетная установка содержит специальные механизмы для обогрева изделий паром или электрическим током, что позволяет существенно ускорить отверждение бетона.

Затем кассету заполняют бетонной смесью. Уплотнение бетонной смеси при формовании изделий в кассетных установках происходит за счет вибрации. Конструкция кассетной установки влияет на вибрацию, которая может передаваться на бетонную смесь через арматурный каркас, виброгребенку, за счет вибрации внутренних разделительных стенок, а также днища кассетной формы. Кассета представляет собой ряд отсеков, образованных стальными или железобетонными вертикальными стенками. В каждом отсеке формуется одно изделие. Таким образом, количество изделий, одновременно формируемых в кассете, соответствует числу отсеков. Это существенно повышает производительность труда, а изготовление изделий в вертикальном положении резко сокращает производственные площади, что является важнейшим преимуществом кассетного способа. Бетонную смесь подают к кассетной установке насосом по бетоноводу, а затем через гаситель по гибкому шлангу в отсек, в который заранее укладывают арматуру.

Для производства газобетона кассета состоит из разделительных вертикальных металлических стенок, расположенных друг от друга на расстояниях, определяемых толщиной формируемых изделий. Между каждыми двумя формовочными отсеками находится тепловой отсек. Для улучшения качества и модернизирования технологии изделий из ячеистых бетонов с

низкой средней плотностью, необходимо произвести герметизацию формовочного пространства. С помощью повышенного давления газа создаются условия для производства более плотных межпоровых перегородок, повышения прочности газобетона. А исключение срезки горбушки и увеличение обрачиваемости кассетных установок приводит к повышению эффективности производства газобетона.

Скорейший переход на новые методы строительства может быть достигнут при внедрении данных технологий в крупнопанельное домостроение. Для успешного решения этой проблемы необходимо обеспечить домостроительные предприятия высокопроизводительным оборудованием. Таким оборудованием и могут являться кассетные установки.

1.3 Патентный обзор

Патентообладатель: Коваленко Николай Владимирович

Дата подачи заявки: 08.06.1995

Дата публикации: 20.05.1997

Тема: Кассетная форма

Использование: в устройствах для изготовления стеновых блоков с фактурным слоем. Кассетная форма содержит поддон с установленными откидывающимися продольными бортами, снабженными поперечными шпильками, а также внутренние разделительные перегородки. Она снабжена рамой - основанием с двумя парами фиксированных опорных втулок, на котором жестко закреплены два центральных поддона и центральная перегородка. При этом внутри опорных втулок размещены подвижные скалки, внешние торцевые окончания которых жестко соединены с торцевыми подвижными втулками, жестко скрепленными с торцевыми стенками. Противоположные окончания скалок продеты в подвижные втулки и снабжены торцевыми гайками. При этом подвижные втулки скреплены со

средними перегородками, которые жестко соединены с крайними подвижными поддонами. Откидывающиеся продольные борта снабжены фиксаторами разделительных перегородок и торцевых стенок.

Патентообладатель: Добротин Александр Евгеньевич

Дата подачи заявки: 27.03.1992

Дата публикации: 30.04.1994

Тема: Кассетная установка

Изобретение относится к производству сборных железобетонных изделий. Кассетная установка состоит из неподвижных и подвижных отсеков, гидроцилиндра стяжки, клинового узла. Новым является то, что гидроцилиндр стяжки жестко закреплен на неподвижном отсеке, имеет отдельную хвостовую часть, заклиниваемую клиновым устройством, шток гидроцилиндра стяжки имеет упор, а гильза его имеет пазы под углом для поворота хвостовой части, хвостовая часть выполнена ответной клиновому устройству, хвостовая часть имеет ответное упору штока отверстие.

Патентообладатель: Добротин Александр Евгеньевич

Дата подачи заявки: 27.03.1992

Дата публикации: 30.04.1994

Тема: Способ фиксации кассетной установки и кассетная установка

Изобретение относится к производству сборных железобетонных изделий, в частности к кассетным установкам. Способ фиксации кассетной установки, заключающийся в перемещении отсеков кассеты гидроцилиндром через тягу и заклинивании гидроцилиндра. Новым является то, что перемещается и заклинивается гильза гидроцилиндра. Кассетная установка состоит из неподвижного отсека, подвижных отсеков, тяги гидроцилиндра стяжки, клинового устройства. Новым является то, что гидроцилиндр стяжки закреплен на неподвижном отсеке штоком, на гильзе гидроцилиндра

выполнены ребра, входящие в контакт с клиновым устройством, запирающим гильзу гидроцилиндра на неподвижном отсеке.

Патентообладатель: Научно-исследовательский институт
транспортного строительства

Дата подачи заявки: 29.04.1993

Дата публикации: 20.03.1996

Тема: Тепловой отсек кассетной установки

Использование: в строительной индустрии может быть использовано для тепловой обработки железобетонных изделий в кассетных формах и т.п. установках. Сущность изобретения: тепловой отсек кассетной установки содержит горизонтальные продольные металлические стенки и торцовые стенки, вертикальные торцовые стенки 3, внутренние перегородки 4, образующие ряд последовательно связанных между собой горизонтальных полостей 5, патрубков 6 подачи пара, патрубков 7 отвода конденсата, патрубков 8 отсоса паровоздушной смеси и внешний эжектор 9. Внутри каждой из полостей 5 закреплены под углом $10 - 15^\circ$ к горизонтальной торцовой стенке 2 внутренние паровые эжекторы 10 и патрубки 11 подвода пара, длина которых от вертикальной торцовой стенки до эжектора составляет $0,15 \dots 0,17$ длины теплового отсека, причем в нижней полости эжектора установлен со стороны ее глухого торца, а в каждой последующей полости эжекторы установлены со стороны соединения двух смежных полостей. Патрубки 11 для подвода пара к эжекторам 10 объединены общим коллектором 12, а в верхней полости 5 закреплен патрубок отсоса паровоздушной смеси на рециркуляцию. Коллектор 12, патрубок 6 подачи пара и патрубок 8 отсоса паровоздушной смеси на рециркуляцию соединены с внешним эжектором 9. Длина каждой разделительной перегородки 4 составляет $0,87 \dots 0,9$ длины теплового отсека и расстояние от внутренней перегородки 4 до продольной торцовой стенки 2 и между перегородками составляет $0,16 \dots 0,25$ высоты теплового отсека (рисунок 1.4).

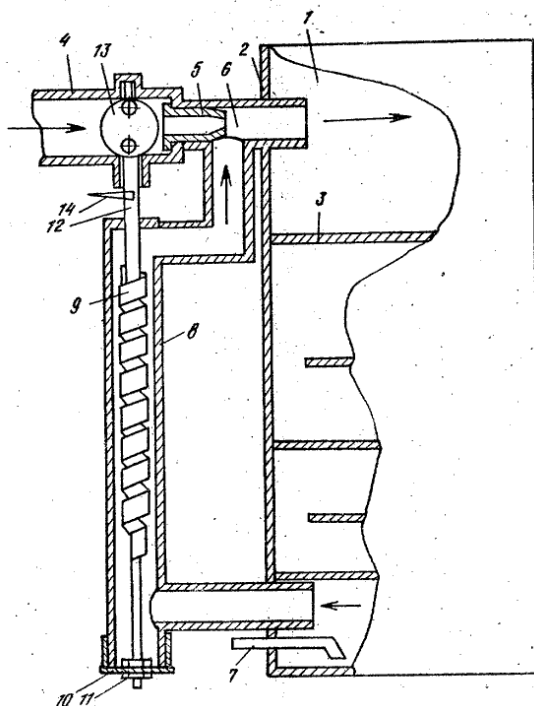


Рисунок 1.4 – Тепловой отсек кассетной

ВЫВОДЫ

1) Несмотря на то, что инженеры-конструкторы, технологи, как отечественные, так и зарубежные, давно работают над усовершенствованием кассетной установки, она нуждается в доработке, в частности усовершенствовании процесса виброформования.

2) Анализ технической и нормативной литературы показал, что в проектировании тепловых отсеков и режимов тепловой обработки изделий в кассетных установках и термоформах не используется в полной мере системный подход в решении вопросов энергосбережения, недостаточно учитывается наличие элементов разной массивности и реальный технологический ритм производства.

3) Переход на позонное пароснабжение тепловых отсеков кассетных установок с переключением подачи теплоносителя в последующую зону

после окончания подъема температуры в предыдущей зоне позволяет снизить требуемую мощность теплоснабжения на 35 %.

4) Использование кассетной установки вертикального типа по сравнению с изготовлением изделий в горизонтальном положении позволяет

- снизить расход цемента, использовать более низкие, чем в других технологиях, марки бетона, что позволяет сэкономить до 10 % цемента;

- снизить расход арматурной стали до 30 %;

- уменьшить трудоемкость за счет снижения до 50 % численности обслуживающего персонала. На линии работают 8 человек так же, как и при опалубочной технологии, а производительность за смену в три раза больше.

- снизить энергозатраты до 20 – 30 % за счет уменьшения издержек на прогрев при термообработке.

5) Существующие кассетные установки несовершенны, так как при изготовлении бетонных смесей в них происходит неравномерное вибрирование бетонной массы и как следствие ее расслоение.

Таким образом, необходимо усовершенствование кассетной установки с целью повышения качества выпускаемых изделий для строительства.

2 ТЕОРИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМОВАНИЯ

2.1 Виброколебания формовочной установки

Механизм подъема виброформовочной машины передвигает рабочую кассету. Вибратор образует силы, под влиянием которых ячейки рабочей кассеты наполняются строительной смесью. Вибратор крепится жестко на одной из боковых сторон бункера машины. Механизм подъема 4 расположен в нижней части рамы 3 формовочной машины. В верхней части через амортизирующие элементы 1 на раме закрепляется бункер, в который подается строительная смесь (рисунок 2.1).

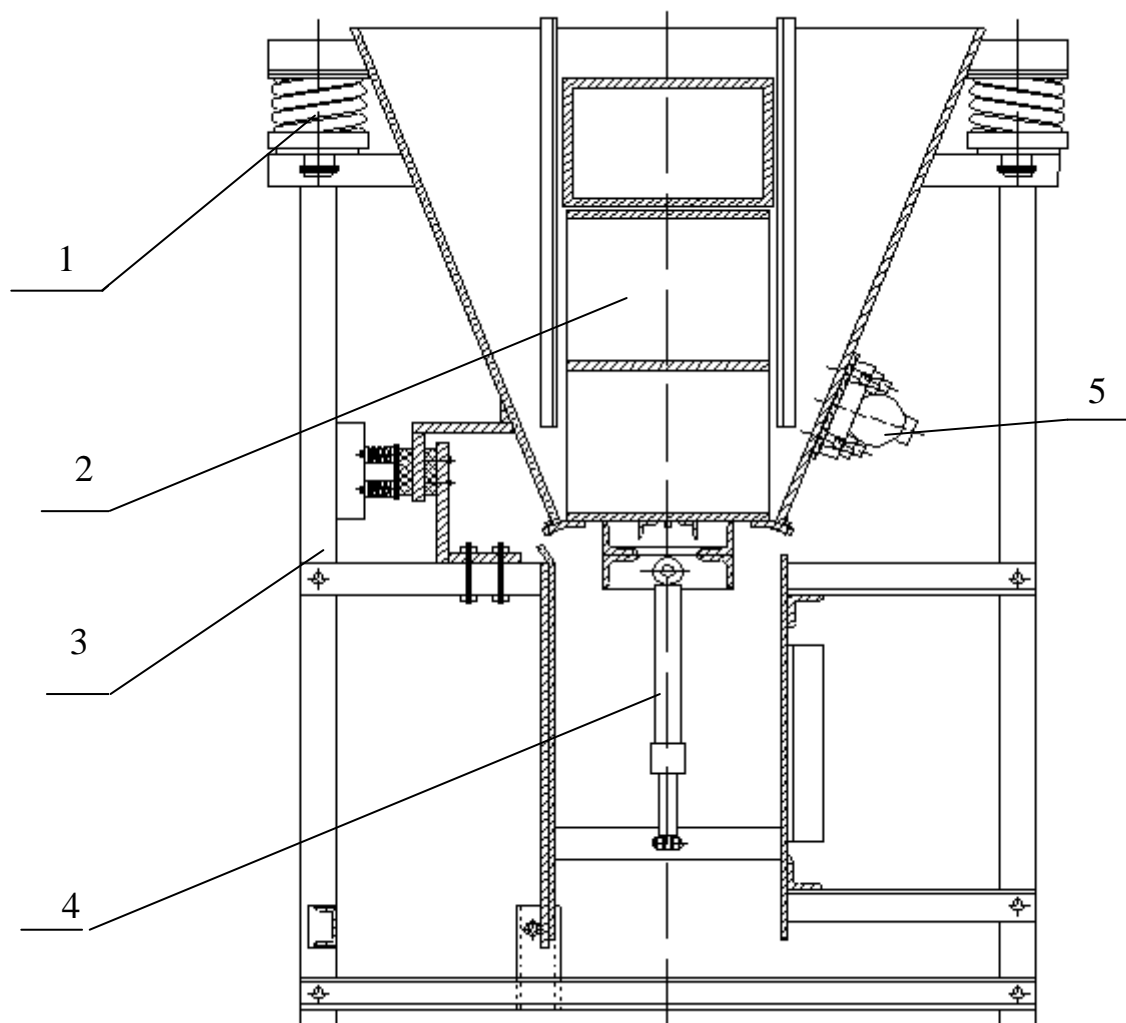
Процесс формования состоит из:

- вертикального выдвижения штока гидроцилиндра с рабочей кассетой в режиме вибрирования строительной смеси в бункере установки;
- опускания рабочей кассеты с «сота́ми», которые заполнены строительной смесью, из бункера вниз.

Проходя через строительную смесь, кассета встречает сопротивление смеси, которое уменьшается под действием вибрации, исходящей от установки. Под воздействием вибрации меняется как видимый, так и действительный коэффициент трения в результате осуществляющихся физико-механических процессов. Благодаря вибрации можно осуществлять перемещение строительной смеси по направлению движения кассеты и заполнение «сот» кассеты строительной смесью.

Движение строительной смеси, заданное в нужном направлении, позволяет улучшить движение рабочей кассеты при её извлечении из бункера со смесью. Извлеченная кассета меняет положение из вертикального в

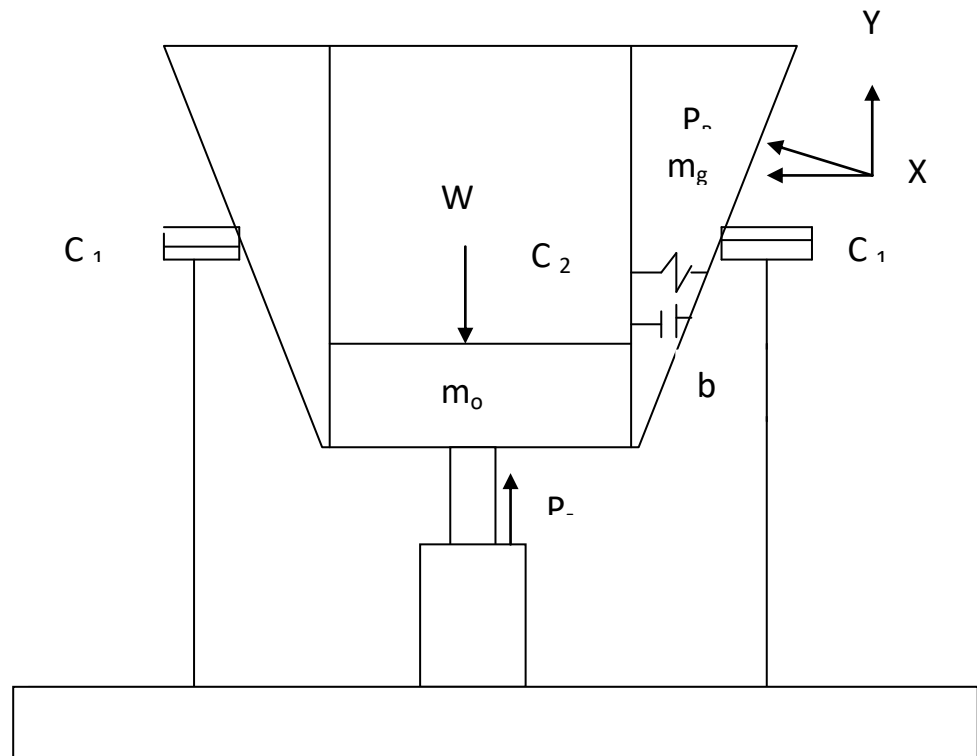
горизонтальное вторым гидроцилиндром. На механизм установки влияют колебания вибратора.



1 – виброгасители; 2 – рабочая кассета; 3 – рама; 4 – гидроцилиндр;
5 – вибратор

Рисунок 2.1 – Схема виброформовочной установки

Для того чтобы снизить степень воздействия вибрации, раму подъемного механизма соединяют с бункером через амортизирующие элементы. Расчетная схема виброформовочного оборудования представлена на рисунке 2.2.



$P_Г$ – усилие гидроцилиндра; W –сопротивление бетонной смеси;
 $P_в$ – вынуждающая сила; C_1 – жесткость амортизатора; C_2 – жесткость бункера; b_2 –
вязкость арболитовой смеси; m_0 – масса кассеты со смесью.

Рисунок 2.2 – Расчетная схема виброформовочного оборудования

Для того чтобы поднять кассету цилиндром грузоподъемника через бетонную смесь, необходимо обеспечить ряд условий:

$$P_Г \geq W \quad (2.1)$$

Уравнение движения этой системы имеет вид

$$P_Г - mg - P_У - P_Д = m \frac{d^2 Y}{dt^2}, \quad (2.2)$$

где $P_У$ – сила упругости;

$P_Д$ – усилие демпфирования

Сила упругости P_y определяется:

$$P_y = P_{yc} + C(Z_l - Z), \quad (2.3)$$

где P_{yc} – сила упругости системы до начала вибрирования.

$$P_{yc} = m g, \quad (2.4)$$

Сила от действия демпфера при заполнении ячеек кассеты:

$$P_\delta = \rho_\delta F_D, \quad (2.5)$$

где F_D – рабочая площадь демпфера;

ρ_δ – перепад давления в полостях бункера и ячеек кассеты.

Расход смеси при заполнении ячеек пропорционален давлению:

$$Q_c = K_c \rho_\delta, \quad (2.6)$$

где K_c – проводимость отверстий ячеек.

Следовательно перепад давления:

$$\rho_\delta = (F_\delta / K_c) / (dz/dt) \quad (2.7)$$

Сила от действия демпфера

$$P_\delta = (F_\delta^2 / K_c) / (dz/dt) \quad (2.8)$$

Форманачинает заполняться после начала работы вибратора. Быстрота воздействия колебаний может рассматриваться как колебательное звено второго порядка. Динамическая модель приведена на рисунке 2.3.

где m_0 – масса колебательной системы;

ρ – плотность арболитовой смеси;

x, \dot{x}, \ddot{x} – перемещение, скорость и ускорение системы соответственно;

b_2 – вязкость арболитовой смеси;

c_2 – жесткость бункера;

c_1 – жесткость амортизатора;

g – ускорение свободного падения;

m_g – масса вала вибратора;

R – радиус эксцентриситета;

ω – частота вращения вала вибратора;

t – время работы;

γ – угол наклона стенки бункера.

Установленные вынужденные колебания системы можно выразить интегралами исходных уравнений

$$\begin{aligned} x &= x_a \cos(\omega t - \varphi_x) \\ y &= y_a \sin(\omega t - \varphi_x)' \end{aligned} \quad (2.10)$$

где x_a и y_a – амплитудные значения перемещений;

φ – угол сдвига фаз между вынужденными колебаниями и вынуждающей силой.

Угловая скорость:

$$\omega = \sqrt{ql / (m_p R_p)} \quad (2.11)$$

где m – масса вала дебаланса;

R – радиус дебаланса;

q – линейное давление;

l – длина вала.

Скорость колебаний:

$$\begin{aligned} \dot{x} &= x_a \cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2} + \varphi\right) \\ \dot{y} &= y_a \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2} + \varphi\right) \end{aligned} \quad (2.12)$$

Ускорение системы:

$$\begin{aligned} \ddot{x} &= x_a \omega^2 \cos(\omega t + \pi + \varphi); \\ \ddot{y} &= y_a \omega^2 \sin(\omega t + \pi + \varphi) \end{aligned} \quad (2.13)$$

Математическая модель представляет тот путь смеси, пока она не достигнет максимальной плотности:

$$0 < \rho < \rho_{\max}; \quad (2.14)$$

Заполнение кассеты строительной смесью идет в режиме виброэктрузии. Виброуплотнение состоит из следующих этапов:

- доведение цементного теста до псевдосжиженного состояния;
- проскальзывание частиц под давлением собственного веса и веса вышележащих слоев смеси;
- плотная упаковка частиц и полное заполнение пустот цементным тестом.

Стеkanie цементного теста на дно формы, всплывание древесных частиц и разрыхление уплотненной массы приводит к равновесию. Это равновесие должно быть нарушено за счет вибрирования. Виброуплотнение арболитовой смеси может быть идентичным модели виброуплотнения тяжелой бетонной смеси. В этом случае в смеси еще не все полости заполнены цементное тесто не является единым целым. Единственно необходимо более мощное вибрационное воздействие для преодоления значительных сил внутреннего трения арболитовой смеси.

Поэтому особенностями виброформования являются:

- фиксирование момента полного уплотнения для прекращения вибрации;

– пригрузение верхнего слоя, в котором уплотнение древесных частиц под воздействием собственного веса является недостаточным;

– максимально возможное пригрузение нижних и средних слоев при формировании за счет самой смеси. Эта особенность больше характерна для вертикального формирования ограждающих конструкций из арболита или использование пригрузов при изготовлении форм горизонтальным способом.

При колебании стенок бункера под влиянием вибратора происходит изменение тягучести смеси. Невибрируемую бетонную смесь можно представить в виде известного уравнения Шведова-Бингана:

$$\tau = \tau_0 + \mu \frac{dU}{dx} \quad (2.15)$$

где τ, τ_0 – полное и начальное напряжение сдвига соответственно;

μ – пластическая вязкость смеси;

$\frac{dU}{dx}$ – скорость сдвига.

При вибрировании арболитовой смеси ее первоначальная структура меняется, внутреннее трение и силы сцепления максимально падают. В связи с этим эффективность коэффициента трения значительно меняется. Древесные частицы заполнителя смеси произвольно укладываются. Высокий коэффициент внутреннего трения, шероховатость поверхностей и рваные торцы частиц создают в арболите своеобразный механизм уплотнения. В этом случае цементное тесто проникает в свободное пространство между частицами, несмотря на то, что перемещение самих частиц весьма слабое.

В этом случае арболитовую смесь можно представить уравнением Ньютона:

$$\tau = \sigma \operatorname{tg} \varphi + \eta_{cm} \quad (2.16)$$

Процесс разрушения структуры смеси идет параллельно с воздухоотделением. В этом случае возникает всплытие «пузырьков» под действием Архимедовой силы. Расчетная схема процесса удаления воздуха из смеси представлена на рисунке 2.4.

Процесс воздухоотделения, т.е. баланс сил, в смеси можно представить уравнением

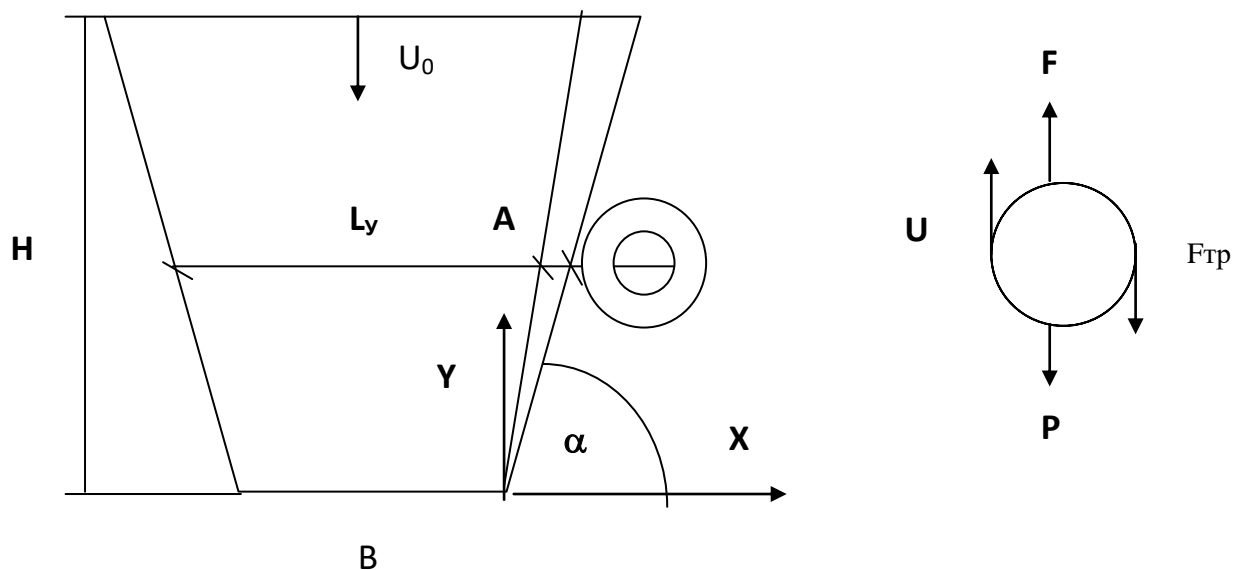
$$\rho_n V_n \frac{dU_{\Pi}}{dx} = \rho_c V_n g - \mu K U_n \quad (2.17)$$

где ρ_n, V_n – плотность и объем выделяемого воздуха соответственно;

ρ_c – плотность смеси в момент времени t ;

U_n – скорость выделяемого воздуха при движении в тяжелой жидкости (вибрированной смеси);

μ – коэффициент трения.



H – высота бункера; B – ширина входного сечения бункера; L_y – ширина бункера в среднем сечении; α – угол наклона боковых стенок бункера; U_0 – вектор скорости смеси; F – Архимедова сила; P – выделяемого воздуха; $F_{\text{тр}}$ – сила трения выделяемого воздуха; U_n – вектор скорости выделяемого воздуха; X, Y – оси координат

Рисунок 2.4 – Расчетная схема процесса удаления воздуха из смеси

Скорость передвижения смеси:

$$U_c = \left(1 - \mu \frac{L_y - x}{L_y} \right) U_t + U_0(y), \quad (2.18)$$

где $L_y = \ell_0 - (H - y) \operatorname{tg} \alpha$ – ширина бункера в сечении,

$U_0(y)$ – изменение скорости передвижения смеси под действием силы тяжести.

При $x = L_y$ на границе бункера скорость смеси совпадает со скоростью ее колебаний.

Следующее уравнение следует из закона сохранения массы. Оно записано для начального сечения ($y = H$) в произвольный момент времени t :

$$\frac{\rho_c \rho_n}{\rho_0 + \rho_n} U_c \ell_0 = (\rho_c U_c + \rho_n U_n) L_y \quad (2.19)$$

В рассматриваемой системе «смесь + воздух» (ρ_0 – плотность первой компоненты) ρ_0 принимается равным 1. $U_c = \text{const}$.

При заданном законе колебаний стенок $A(t) = A_0 \sin \omega t$ скорость движения стенки зависит от условия, что в уравнении (2.14) U_t является продольной составляющей этой скорости:

$$U_t = \omega A \cos \omega t \sin \alpha, \quad (2.20)$$

С учетом равенства (2.18) выводим из уравнения скорости движения смеси:

$$\mu = \left[\frac{-U_c + U_0(y)}{U_t} + 1 \right] \cdot \frac{L_y}{L_y - x} \quad (2.21)$$

Находимой величиной будет $\rho_c(t)$ – плотность смеси в настоящий момент. Поэтому, выведя U_n из равенства (2.19) и подставив его значение в уравнение 2.21, получаем обычное дифференциальное уравнение:

$$U_n = \frac{\rho_c \rho_n}{\rho_0 + \rho_n} \cdot \frac{U_c \ell_0}{L_n \rho_n} - \frac{\rho_c U_c}{\rho_n} \quad (2.22)$$

С учетом того, что $\rho_n = 1 \text{ кг/м}^3$, имеем:

$$U_n = \left[\frac{\rho_0}{\rho_0 + 1} \cdot \frac{\ell_0}{L} - \rho_c \right] U_c \quad (2.23)$$

Продифференцируем равенство:

$$\frac{dU_n}{dt} = \left[-\frac{\rho_0}{\rho_0 + 1} \cdot \frac{\ell_0 U_0 \operatorname{tg} \alpha}{[\ell_0 - (H - U_c t) \operatorname{tg} \alpha]^2} - \frac{d\rho_c}{dt} \right] U_c \quad (2.24)$$

которое после его подстановки в равенство 2.18 можно представить следующим образом:

$$\frac{d\rho_c}{dt} = -\frac{\rho_0}{\rho_0 + 1} \cdot \frac{\ell_0 U_0 \operatorname{tg} \alpha}{[\ell_0 - (H + U_c t) \operatorname{tg} \alpha]^2} - \frac{d\rho_c}{dt} + \mu K \left[-\frac{\rho_0}{\rho_0 + 1} \cdot \frac{1}{\ell_0 + (H + U_c t) \operatorname{tg} \alpha} - \rho_c \right] \quad (2.25)$$

где ρ_c – исходная (загрузочная) плотность смеси;

g – ускорение свободного падения;

μ – коэффициент трения.

Таким образом, изначальную задачу можно представить решением уравнения 2.25 с начальным условием $\rho_c(0) = \rho_0$. Плотность определяется в момент времени на высоте $H - U_c t$ при произвольно заданном x , которое находится в диапазоне:

$$0 < x < L + U_c t \operatorname{tg} \alpha \quad (2.26)$$

Решить дифференциальное уравнение 2.26 можно, заменив коэффициенты:

$$L = \frac{1}{\rho_n \frac{dy}{dL}}; \quad m = K\mu U_c; \quad C = \frac{U_c}{\ell_0 + \frac{y}{\operatorname{tg} \alpha}}. \quad (2.27)$$

В итоге получится дифференциальное нелинейное уравнение Бернулли:

$$\rho_c^l + \rho_c(L_g - L_m + C) = L_g \rho_c^2 \quad (2.28)$$

Решение уравнения Бернулли выглядит следующим образом:

$$U = \frac{L_g - L_m + C}{(L_m - L_g - C)t} + C_1 \quad (2.29)$$

$$\rho_c = \left(\frac{L_g - L_m + C}{L_g e^{(L_m - L_g - C)t}} + C_1 \right) \cdot e^{(L_m - L_g - C)t} \quad (2.30)$$

Таким образом:

$$\rho_c = \frac{L_g - L_m + C}{L_g} + C_1 \cdot e^{(L_m - L_g - C)t} \quad (2.31)$$

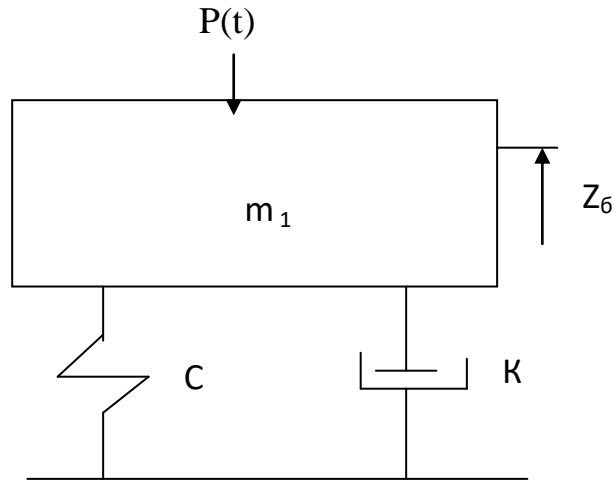
Из заданных условий находим C_1 . При $\rho_c = 600 \text{ кг/м}^3$ $C_1 = 5,97$.

Таким образом, механизм удаления воздуха из смеси можно представить дифференциальным нелинейным уравнением Бернулли. Качество уплотнения смеси зависит от размещения виброизлучающей поверхности, параметров вибробункера, высоты столба бетонной смеси.

2.2 Моделирование виброзащиты виброформовочной установки

На виброформовочную установку воздействует колебательный процесс вибробункера и слоев шихты колеблющейся смеси. Для защиты от вибрации между основанием подъемного механизма и бункером формирующей установки применяются виброгасители. На рисунке 2.5 представлена

расчетная схема виброзащиты установки.



m_1 – масса бункера со смесью; Z_6 – перемещение бункера в вертикальной плоскости; C – жесткость амортизатора; K – коэффициент диссипации. $P(t)$ – вынуждающее усилие.

Рисунок 2.5 – Механическая модель виброзащиты

Вращающиеся неуравновешенные массы приводят как местную, так и общую вибрацию оборудования. Таким образом образуется динамическая система с упругими связями.

Дифференциальное уравнение колебаний массы m_1 можно представить следующим образом:

$$m_1 \ddot{z}_1 + \beta \dot{z}_1 + cz_1 = P(t) \quad (2.32)$$

Полагая, что $P = P_0 \sin \omega t$, и разделив на массу, уравнение (2.32) будет иметь следующий вид:

$$\ddot{z}_1 + 2g \dot{z}_1 + \nu^2 z_1 = P_0/m_1 \sin \omega t \quad (2.33)$$

Решение этого неоднородного дифференциального уравнения будет:

$$z_1 = A \cos \omega t + B \sin \omega t \quad (2.34)$$

Подставляя уравнение (2.34) в уравнение (2.33) получим:

$$\begin{cases} (v^2 - \omega^2)A + 2g\omega B = 0 \\ -2g\omega A + (v^2 - \omega^2)B = \frac{P_0}{m_1} \end{cases} \quad (2.35)$$

где $v = \sqrt{\frac{c_1}{m_1}}; \quad 2g = \frac{\beta_1}{m_1}. \quad (2.36)$

Из последней системы уравнений находим неизвестные амплитуды А и В:

$$\begin{cases} A = -\frac{P_0}{m_1} \cdot \frac{2g\omega}{(v^2 - \omega^2)^2 + 4g^2\omega^2} \\ B = \frac{P_0}{m_1} \cdot \frac{v^2 - \omega^2}{(v^2 - \omega^2)^2 + 4g^2\omega^2} \end{cases} \quad (2.37)$$

С учетом выражений А и В из последнего выражения решение неоднородного дифференциального уравнения (2.33) может быть приведено к такому виду:

$$z_1 = \frac{P_0}{m_1} \frac{1}{\sqrt{(v^2 - \omega^2)^2 + 4g^2\omega^2}} \sin(\omega t - \delta) \quad (2.38)$$

где $\delta = \arctg \frac{2g\omega}{v^2 - \omega^2}$

Учитывая, что

$$v^2 = \frac{c_1}{m_1}; \quad \frac{g}{v} = \frac{\beta_1}{2m_1\sqrt{c_1/m_1}} = \frac{\beta_1}{2\sqrt{c_1 \cdot m_1}} = \frac{\beta_1}{\beta_{e\delta}} = \gamma \quad (2.39)$$

Решение неоднородного дифференциального уравнения (2.33) можно представить таким образом:

$$z_1 = \frac{P_0}{c_1} \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \frac{\omega^2}{v^2}\right)^2 + 4\gamma^2 \frac{\omega^2}{v^2}}} \sin(\omega t - \delta) \quad (2.40)$$

Из последнего выражения видно, что коэффициент передачи по деформациям виброизолирующего элемента составляет:

$$\Delta_1 = \frac{|z_{1\max}|}{P_0} = \frac{1}{c_1 \sqrt{\left(1 - \omega^2/v^2\right)^2 + 4\gamma^2 \cdot \omega^2/v^2}} \quad (2.41)$$

Сила, которая передается от изолируемого объекта на бункер будет:

$$Q = m_1 \ddot{z}_1 \quad (2.42)$$

Подставляя z_1 из выражения 2.41 в последнее уравнение, будем иметь:

$$Q = -m_1 \frac{P_0}{c_1} \frac{\omega^2}{\sqrt{\left(1 - \omega^2/v^2\right)^2 + 4\gamma^2 \omega^2/v^2}} \sin(\omega t - \delta) \quad (2.43)$$

Тогда коэффициент передачи силы от объекта к бункеру составит:

$$\Delta_2 = \frac{|Q_{\max}|}{P_0} = \frac{\omega^2/v^2}{\sqrt{\left(1 - \omega^2/v^2\right)^2 + 4\gamma^2 \cdot \omega^2/v^2}} \quad (2.44)$$

Уровень виброизоляции установки зависит от выбора упругого элемента и степени демпфирования. Коэффициент передачи вынуждающей силы от бункера к раме гидроцилиндра должен быть меньше единицы.

2.3 Влияние вибрационного поля на динамику виброформование установки

Показателем уровня виброзащиты установки в режиме воздействия на нее вибрационных нагрузок можно считать амплитуду колебаний бункера и ускорение. Для того чтобы уменьшить уровень вибрационных сил в конструкции виброформовочной установки предполагаются гасители вибрации в качестве амортизирующих элементов. Другими параметрами, влияющими на величину динамической нагруженности установки, можно считать: массу колебательной системы, массу дебаланса вибратора, радиус эксцентриситета, частоту вращения дебаланса, угол сдвига фаз, объем арболитовой смеси, жесткость амортизатора, жесткость бункера, время работы.

Для выбора рациональных параметров динамической системы (рисунок 2.3) можно описать следующей системой уравнений.

$$\begin{cases} (m_0 + \rho \vartheta) \ddot{x} + b_2 \dot{x} + c_2 x = m_g R \omega^2 \cos \varphi t \sin \gamma \\ (m_0 + \rho \vartheta) \ddot{y} + c_1 y - (m_0 + \rho \vartheta) g = m_g R \omega^2 \sin \varphi t \cos \gamma \end{cases} \quad (2.45)$$

Система уравнений, приведенная выше, с разбивкой варьируемых параметров на определенные шаги, решалась пошагово. Шаг варьирования плотности смеси принят 100 кг/м^3 . В таблице 2.1 представлены значения постоянных параметров математической модели.

Таблица 2.1 - Постоянные параметры математической модели

Масса колебательной системы	кг	m_0	100
масса дебаланса вибратора	кг	m_g	10
радиус эксцентриситета	м	R	0,008
частота вращения дебаланса	рад/с	ω	300
угол сдвига фаз	рад	φ	0,50
объем арболитовой смеси	m^3	V	0,20
угол наклона стенки бункера	рад	γ	0,45

В таблице 2.2 приведены значения варьируемых коэффициентов математической модели.

Таблица 2.2 - Значения варьируемых параметров

жесткость амортизатора	кН/м	c_1	0,5;10;100
жесткость бункера	кН/м	c_2	0,5;10;100
время работы	с	t	10;100;200
вязкость арболитовой смеси	Па/с	b_1	25;100;200

При варьировании коэффициентом плотности смеси от 100 до 1000 $кг/м^3$ и при вязкости смеси 200 Па/с результаты математических вычислений показали, что амплитуда колебаний вибросистемы составила от 0,09 до 0,30 мм. Величина амплитуды колебаний в вертикальной и горизонтальной плоскостях существенных отличий не имеет. Ускорения элементов системы колеблются от 0,2 до 3,0 $м/с^2$. Ускорения, возникающие в вертикальной и горизонтальных плоскостях, больших отличий не имеют. Ускорения, возникающие в вертикальной плоскости, значительно превосходят ускорения

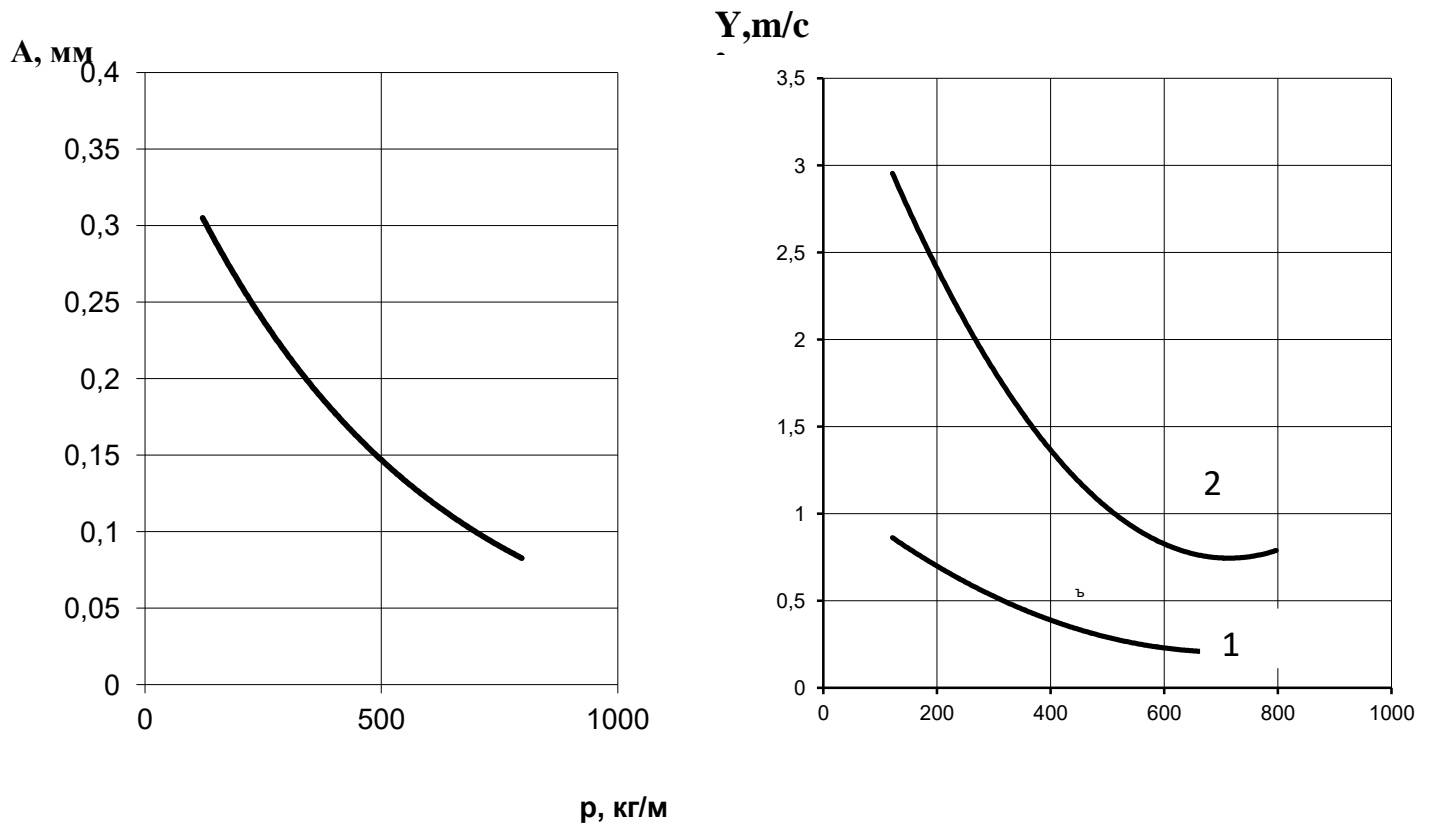
по горизонтальной плоскости. Их значения по плоскостям представляются следующим образом:

- ускорения в вертикальной плоскости изменялись от 0,7 до 3,0 m/c^2 ;
- ускорения в горизонтальной плоскости – от 0,2 до 0,9 m/c^2 .

Если увеличить плотность смеси от 100 до 800 $кг/м^3$ амплитуда колебаний и ускорение элементов системы уменьшается (рисунок 2.6).

При тягучести смеси 200 $Па/с$ значения амплитуды колебаний и ускорений бункера небольшие.

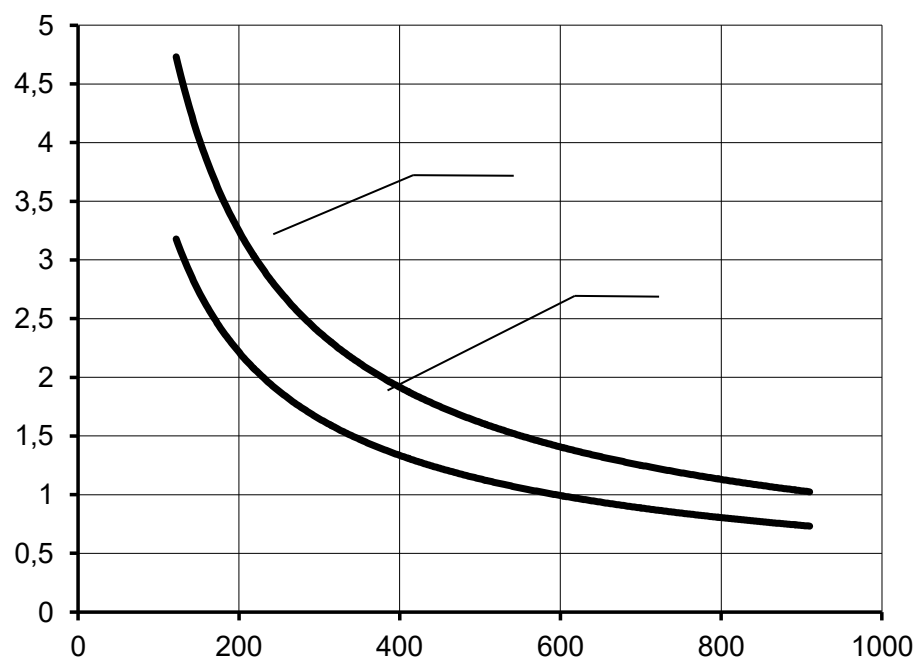
На рисунке 2.6 представлены результаты исследований при уменьшении жесткости амортизатора и бункера до 0,5 $кН/м$ и увеличении времени работы до 100 с. В данном случае амплитуда колебаний составила от 0,07 до 0,36 мм. Ускорения в вертикальной плоскости составили от 0,9 до 4,6 m/c^2 , в горизонтальной плоскости - от 0,7 до 3,2 m/c^2 .



1—горизонтальная плоскость; 2 —вертикальная плоскость
 Рисунок 2.6 - Зависимости вибрационного процесса

Таблица 2.3 - Значения выбранных варьируемых параметров

вязкость арболитовой смеси	Па/с	b_1	100
жесткость амортизатора	кН/м	c_1	100
жесткость бункера	кН/м	c_2	100



1 – вертикальная плоскость; 2 – горизонтальная плоскость

Рисунок 2.7 - Зависимость виброускорения бункера от плотности
ШИХТЫ

Таблица 2.4 - Значения выбранных варьируемых параметров

вязкость арболитовой смеси	Па/с	b_1	100
жесткость амортизатора	кН/м	c_1	0,5
жесткость бункера	кН/м	c_2	0,5
время работы	с	t	100

Изменение времени работы системы со 100с до 300с меняет результаты. Если время работы системы было 200с, то амплитуда колебаний составляла 0,4–0,7 мм. Ускорения системы в вертикальной плоскости изменялись от 2,86 до 4,56 м/с^2 (рисунок 2.8).

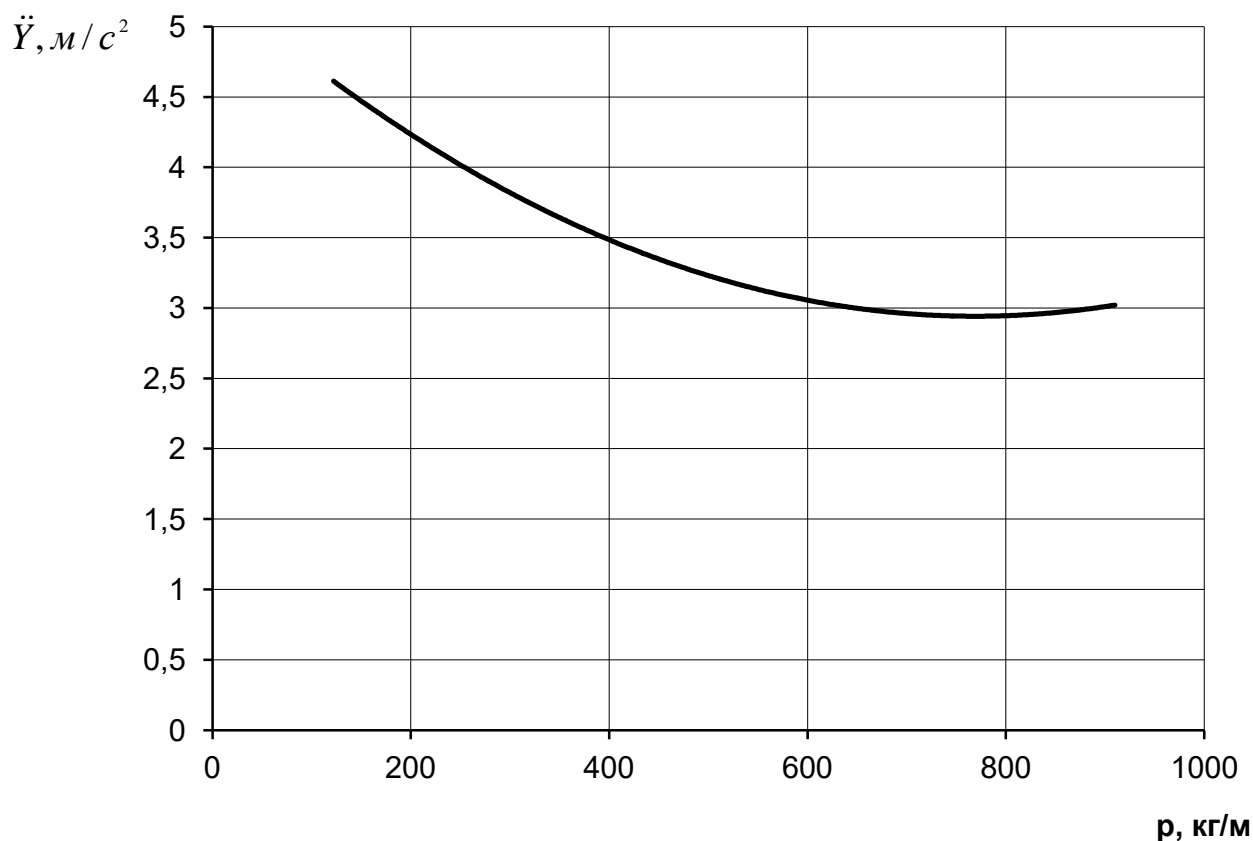
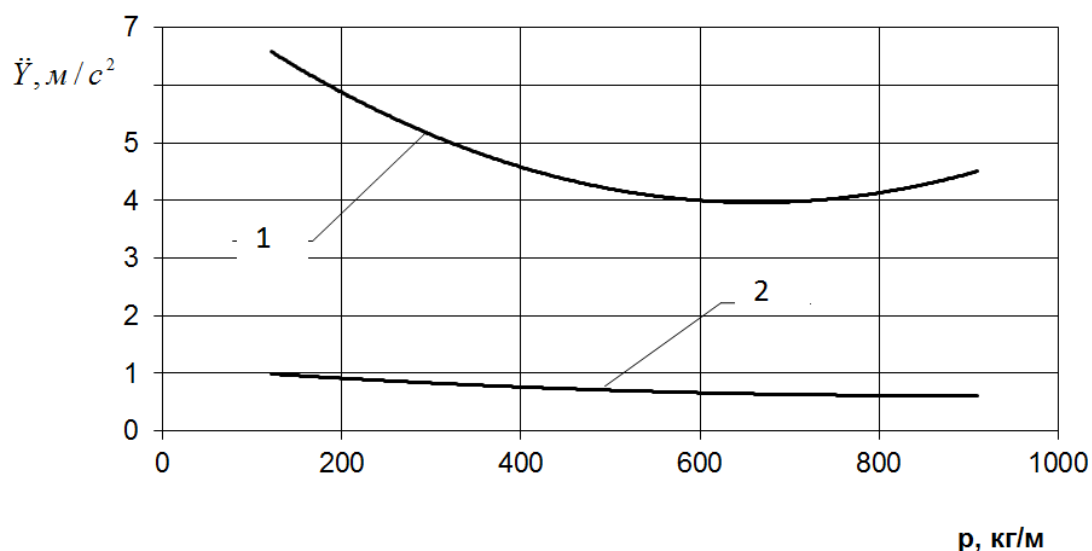


Рисунок 2.8 –Зависимость виброускорений от плотности шихты

Таблица 2.3–Значения выбранных варьируемых параметров

вязкость арболитовой смеси	Па/с	b_1	100
жесткость амортизатора	кН/м	c_1	100
жесткость бункера	кН/м	c_2	100
время работы	с	t	200

С увеличением времени вибрирования до 300 с амплитуда колебаний уменьшилась незначительно; ускорения увеличивались несущественно: в вертикальной плоскости до 3,62 – 6,33 $м/с^2$, в горизонтальной плоскости – до 0,5 – 0,9 $м/с^2$, (рисунок 2.9). Если увеличить время вибрирования с 200 до 300 с, то амплитуда колебаний уменьшится на 10%, а ускорения увеличатся несущественно и не превысят значений нормы.



1 – вертикальная плоскость; 2 – горизонтальная плоскость

Рисунок 2.9 - Зависимость виброускорений от плотности шихты

Таблица 2.4–Значения выбранных варьируемых параметров

вязкость арболитовой смеси	Па/с	b_1	100
жесткость амортизатора	кН/м	c_1	100
жесткость бункера	кН/м	c_2	100
время работы	с	t	300

На состояние виброформовочного оборудования влияет степень колебательного процесса на которую влияет степень жесткости виброгасителей, степень демпфирования и реологии шихты строительного раствора.

На рисунке 2.10 приведены результаты исследований при варьировании жесткости амортизатора от 20 кН/м до 70 кН/м. При этом параметры амплитуды колебаний изменялась в вертикальной плоскости от 0,056 до 0,4 мм; в горизонтальной плоскости - от 0,02 до 0,16 мм. Ускорения менялись соответственно от 0,5 до 2,7 m/s^2 , а также от 0,3 до 1,8 m/s^2 . Более лучших результатов удалось получить при плотности шихты 600 кг/м^3 , жесткости виброгасителя 70 кН/мм.

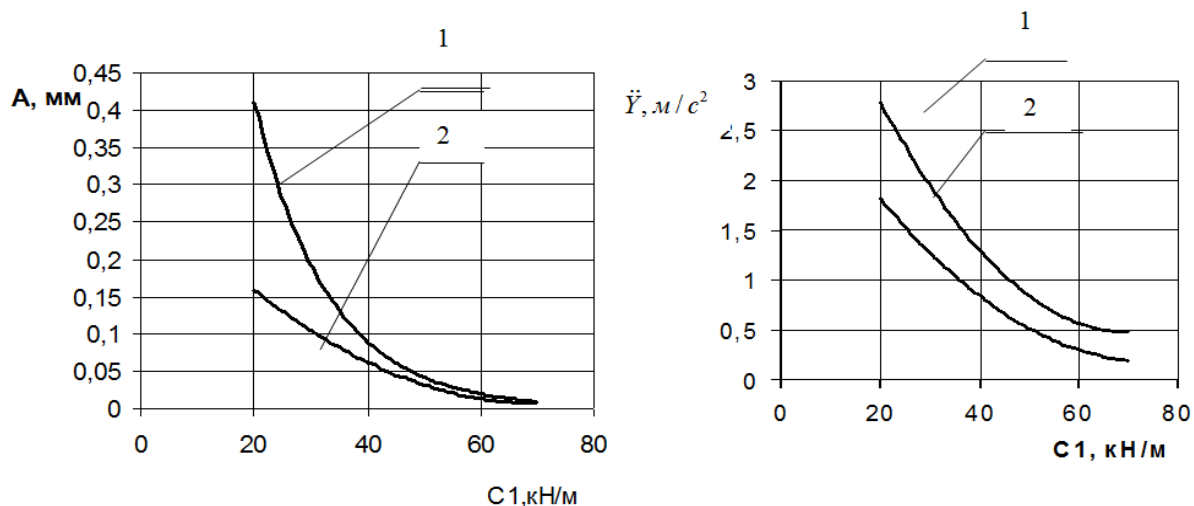


Рисунок 2.10–Зависимость виброускорений от жесткости виброгасителей

Таблица 2.5–Значения выбранных варьируемых параметров

жесткость амортизатора	кН/м	c_1	100
вязкость арболитовой смеси	Па/с	b_1	100
жесткость бункера	кН/м	c_2	100

Параметры вибрирования и жесткость виброгасителей выводятся из условий, обеспечивающих устойчивость периодических движений. Хороший эффект можно получить, если правильно выбрать амплитуду и частоту колебаний рабочего органа, вид и параметры системы возбуждения колебаний.

Аппроксимацией зависимостей ускорения бункера и амплитуды колебаний получены формулы

$$\begin{aligned}
 \ddot{Y} &= 6E - 0,6\rho^2 - 0,009\rho + 3,9, \\
 A &= 12,9\rho^{-0,74}, \\
 \ddot{Y} &= 9E - 16C_1^2 - 1E - 07C_1 + 4,9, \\
 A &= 1,89e^{-8E - 0,8C_1},
 \end{aligned}
 \tag{2.46}$$

где \ddot{Y} виброускорения бункера виброформовочного оборудования;

A – амплитуда колебаний.

ВЫВОДЫ

На основе проведенных теоретических исследований можно сделать следующие выводы:

1) Динамическое состояние виброформовочного оборудования зависит от направленности вибрационного воздействия, вынуждающего изменять усилия вибратора относительно вертикальной и горизонтальной плоскостей в зависимости от угла наклона стенок бункера. Для получения коэффициента передачи нагрузки на подъемный механизм меньше единицы нужно, чтобы угол наклона стенок бункера находился в пределах 25 –35 град.

2) Выявлены зависимости влияния на усилие гидроцилиндра вязкости и коэффициента трения шихты строительной смеси под воздействием вынуждающей силы вибровозбудителя, жесткости упругих связей конструкции и упругости шихты строительной смеси, а также времени вибрирования.

3) Определены требования виброзащиты, зависящие от выбора жесткости упругого элемента и степени демпфирования таким образом, чтобы коэффициент передачи нагрузки на грузоподъемное оборудование составлял меньше единицы.

4) Виброускорение и амплитуда колебаний бункера снижаются с повышением плотности шихты и жесткости амортизатора при длительности вибрирования до 200с. С повышением длительности вибрирования с 200 до 300 с амплитуда колебаний снижается на 10%, ускорение становится больше, но не превышает нормативных значений.

3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

3.1 Задачи, методика проведения экспериментальных исследований

В основе экспериментальных исследований лежит рабочий образец виброформовочной установки (рисунок 3.1).

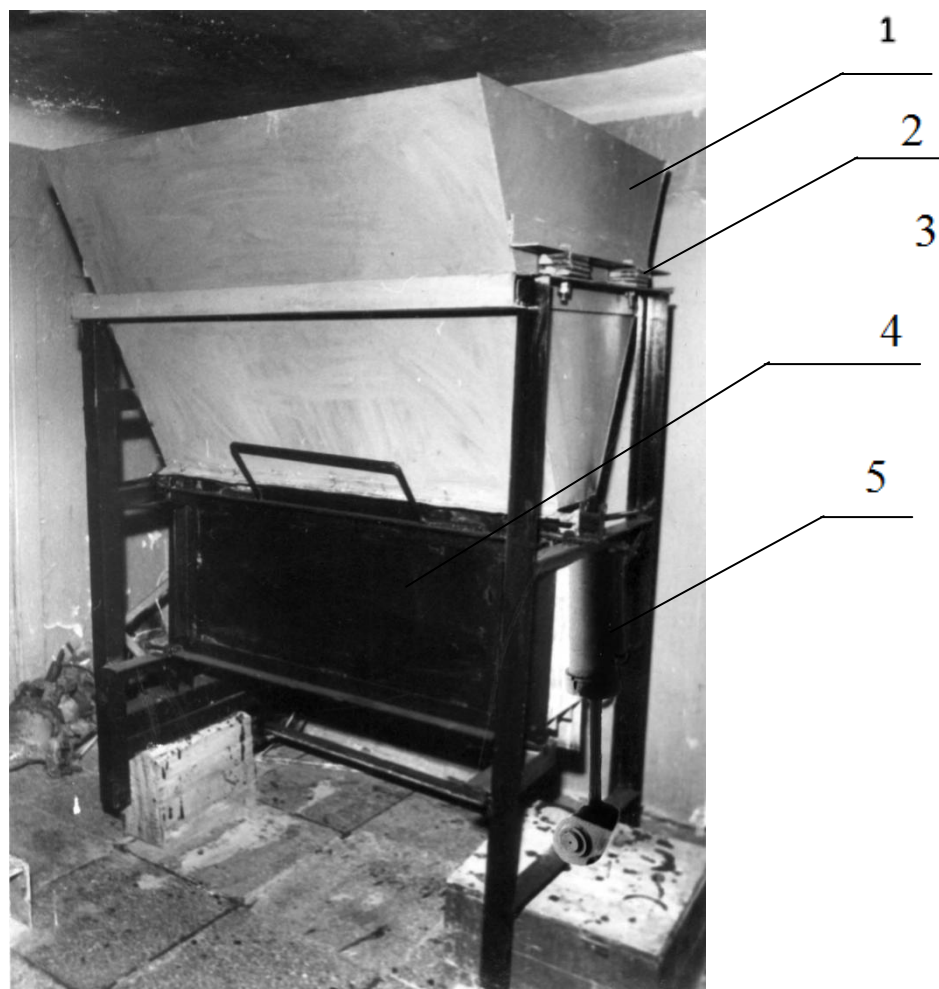


Рисунок 3.1—Экспериментальное оборудование

Виброформовочное оборудование состоит из бункера 1, закрепленного на раме 3, через виброизоляторы 2. По направляющим бункера, находящимся внутри его, передвигается сотовая рамка с помощью гидроцилиндра 5. Снятие рамки происходит на поддоне 4 за счет поворота на шарнирах. Подача сотовой рамки происходит через нижнее отверстие 6, бункера 4, за счет

прохождения рамки через арболитовую смесь. Рабочий процесс формования арболитовой смеси можно описать следующим образом.

Приёмная кассета расположена горизонтально. Далее укладывается поддон и ячеистая рамка. Специальные запоры удерживают рамку в кассете.

Затем приёмная кассета переворачивается с поддоном и рамкой и устанавливается в вертикальное рабочее положение.

Далее включается гидростанция. Рамка, которую толкают штоки гидроцилиндров, вертикально поднимается по направляющим бункера и становится в рабочее положение таким образом, чтобы нижняя поверхность ячеистой рамки перекрывала выпускное отверстие бункера и препятствовала таким образом вытеканию арболитовой шихты.

Потом в бункер подаётся шихта, заполняя его на высоту выше рамки на 0,5 м.

Одновременно с гидростанцией включается и вибратор. Рамка заполняется шихтой и уплотняется. Заполненная рамка опускается в приёмную кассету со скоростью 0,1 м/с. Вибратор уплотняет шихты. Рамка опускается вниз, пока полностью не выйдет из бункера. Выпускная щель перекрывается затвором.

Отключение гидростанции и вибратора происходит автоматически.

Рамка вместе с поддоном выставляется в горизонтальное положение.

При проведении экспериментов выводились динамические характеристики процессов виброформования:

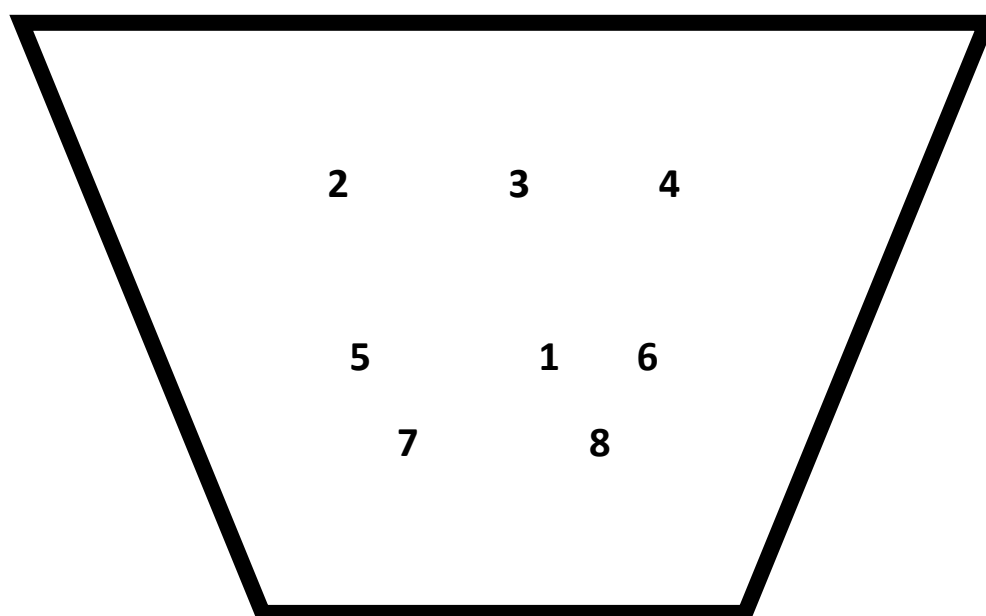
- амплитуда колебаний стенок вибробункера;
- амплитуда колебаний шихты арболитовой смеси;
- амплитуда и ускорения вибробункера;

Исследования динамических процессов формования проводилось при наполнении ячеистой рамки арболитовой смесью в процессе движения «снизу–вверх» по направляющим бункера с одновременным вибрированием стенок бункера. Параметры, определяемые в процессе экспериментов, приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Таблица измеряемых параметров

Параметры	Аппаратура	Объект определения параметров
Плотность арболитовой смеси, кг/м ³	ВА - 2	Формовочная установка
Частота и амплитуда колебаний стенок бункера, Гц	ВР - 1	То же
Масса компонентов арболитовой смеси, кг	Дозатор	То же
Прочность на сжатие, МПа	Шкала прессы	Пресс

Размещение датчиков в бункере со смесью показано на рисунке 3.2. Один общий датчик электросопротивления находится по центру бункера, а десять других датчиков под углом 60° к общему на расстоянии 120 мм от него. Сопротивление датчиков измерялось мостом постоянного тока. Частота и амплитуда колебаний стенок бункера измерялась виброметром ВР - 1.



1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11—номера датчиков.

Рисунок 3.2 – Схема размещения датчиков колебательного процесса

Датчики измерения колебательного процесса находились на торцевой стороне стенки бункера. При полностью загруженном вибробункере арболитом измерялась частота и амплитуда колебаний смеси и стенок бункера на различных частотах работы вибратора марки «ИВ – 92» при частоте 20; 40,5; 100 Гц. Исследования проводились как при загруженном бункере, так и пустом.

3.2 Анализ колебательного процесса кассетной установки

На виброформовочную машину влияет колебательный процесс стенок бункера.

Так как вибратор изменяет величину возмущающей силы, можно выбрать оптимальный режим вибрации, проверить ее влияние на самовозбуждение бункера и приемной кассеты грузоподъемника.

Колебательный процесс стенок бункера определяется амплитудой их колебания. На рисунке 3.3 приведены экспериментальные зависимости амплитуды колебаний стенок бункера при частоте колебаний, создаваемых вибратором: 30, 40, 50 и 100 Гц.

Наибольшая амплитуда колебаний стенок бункера происходит при частоте колебаний 40 Гц. Использование вибратора с промышленной частотой 50 Гц дает возможность получить амплитуду колебаний стенок бункера до 3,2 мм. Этого достаточно, чтобы передать вибрацию на шихту арболитовой смеси. Поэтому колебания шихты арболитовой смеси исследовались при работе вибратором с частотой вибрации 50 Гц.

При различной частоте колебаний стенок бункера амплитуда достигает значений, приведенных в таблице 3.2.

Амплитуду колебаний стенок бункера можно представить уравнением

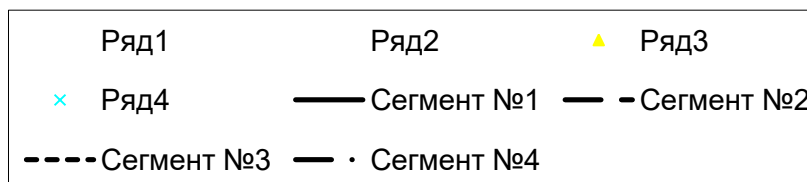
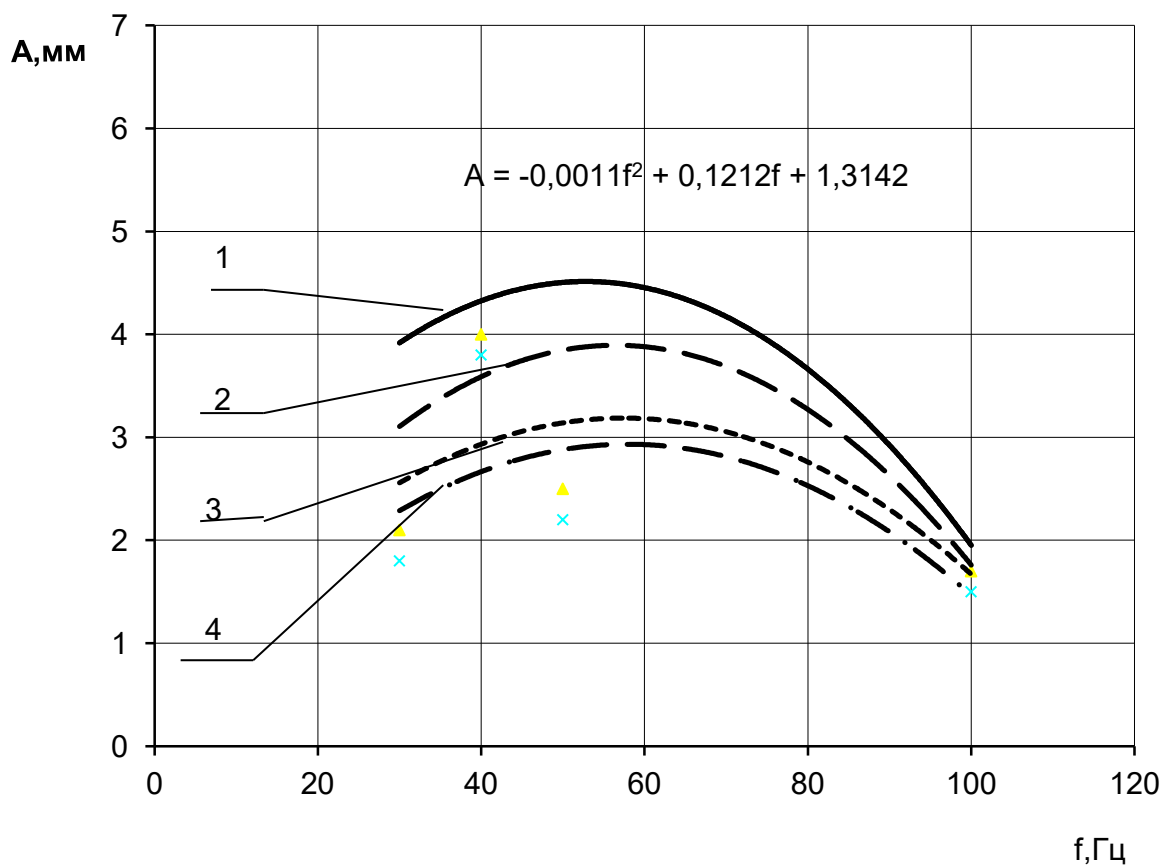
$$A = -0,001f^2 + 0,13f + 0,43 \quad (3.1)$$

где f – частота колебаний.

Оптимальной частотой колебаний будет 50 Гц.

Таблица 3.2 – Колебательный процесс

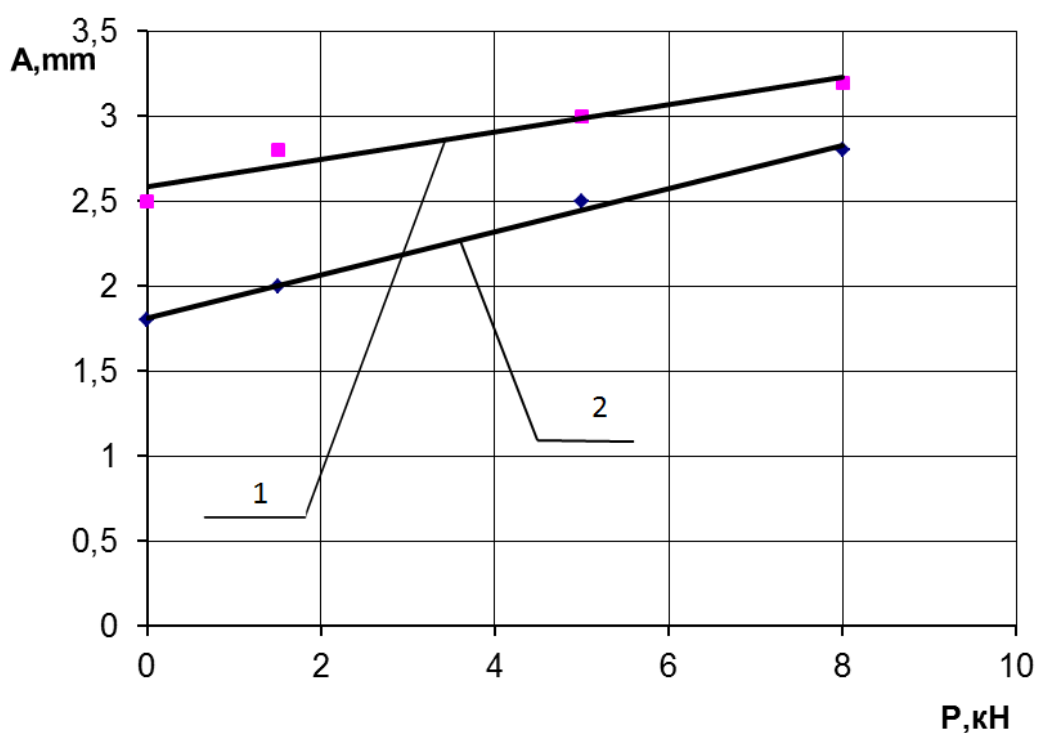
Частота колебаний стенокбункера, Гц	Амплитуда, мм
30	3,5
40	6,0
50	3,2
100	2.0



1—сегмент №1, 2 – сегмент №2, 3 – сегмент №3, 4 – сегмент №4

Рисунок 3.3 – Колебательный процесс стенок бункера

На рисунке 3.4 приведены зависимости амплитуды колебаний стенок бункера от величины вынуждающей силы вибратора частотой вибрации 50 Гц как при загруженном шихтой бункере, так и незагруженном. Амплитуда колебаний стенок бункера будет максимальной как в пустом, так и в загруженном состоянии при максимальном дебалансе, то есть при максимальной вынуждающей силе $P_{\text{возб.}} = 8,0$ кН. При этом нерабочие стенки (торцовые, стойки, рамы и пр.) имеют небольшую амплитуду колебаний: 0,3, 0,6 мм. Рабочие стенки бункера вибрируют хорошо и имеют амплитуду колебаний: 2,6, 2,2 и 2,0 мм в загруженном состоянии и в незагруженном состоянии - 2,7; 2,9 и 3,1 мм. Стойки бункера при $P_{\text{возб.}} = 8,0$ кН имеют колебания только в своей верхней части.



1 – при незагруженном смесью бункере; 2 – при загруженном бункере смесью

Рисунок 3.4 – Зависимость амплитуды колебаний стенок бункера от вынуждающей силы вибратора

Амплитуда колебаний стенок бункера аппроксимируется линейной зависимостью:

$$A = 0,13P + 1,81 \quad (3.2)$$

где P – вынуждающая сила вибратора.

При наименьшем дебалансе амплитуда становится меньше к середине стенки, а углы бункера вибрируются больше, что позволяет лучше уплотнять смесь по краям рамки, равномерно увеличивая прочность всего изделия. При вынуждающей силе соответственно 2,4 и 5,2 кН плотность выравнивается по всей кассете.

При работе вибратора колеблются стенки бункера и слои шихты. Амплитуда колебаний слоев шихты находится в зависимости от амплитуды колебаний стенок бункера и соответственно от места положения вибратора на бункере. Для исследования процесса колебаний слоев шихты проводилось измерение электрического сопротивления шихты при различной частоте работы вибратора. Максимальная амплитуда колебаний шихты зафиксирована со стороны боковой стенки, на которой установлен вибратор.

Соответственно по высоте бетонного столба амплитуда колебаний слоев шихты становится меньше, если увеличивается расстояние от установленного вибратора. Самые слабые колебания шихты можно видеть на противоположной вибратору стороне. Наибольшая амплитуда колебаний шихты происходит на уровне установленного вибратора и составляет 2,70 мм. Наименьшая амплитуда колебаний в этом же слое составляет 2,17 мм. Таким образом, во время колебаний шихты видно ее перемещение в противоположную от вибратора сторону. Это перемещение шихты передается кассете, которая взаимодействует с вибрируемой массой арболитовой смеси.

ВЫВОДЫ

1) Амплитуда колебаний стенок бункера изменяется линейно и нелинейно. При линейном изменении она зависит от действия вынуждающей силы вибратора и при нелинейном от частоты его колебаний. Наибольшая амплитуда колебаний стенок бункера виброформовочной машины возникает в диапазоне частоты колебаний 40 – 50 Гц. Использование вибратора с промышленной частотой 50 Гц позволяет получить амплитуду колебаний стенок бункера до 3,2 мм.

2) Подтвердилась достоверность теоретических исследований колебательного процесса виброформовочной машины. Разница амплитуды колебаний стенок бункера и слоев шихты строительной смеси не более 24 %.

4 СОЗДАНИЕ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА ВИБРОФОРМОВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ

4.1 Имитационная модель модели в среде программы MATLAB&Simulink

Используя средства программы MATLAB&Simulink получена имитационная модель объекта с использованием ПИД-регулятора (рисунок 4.3).

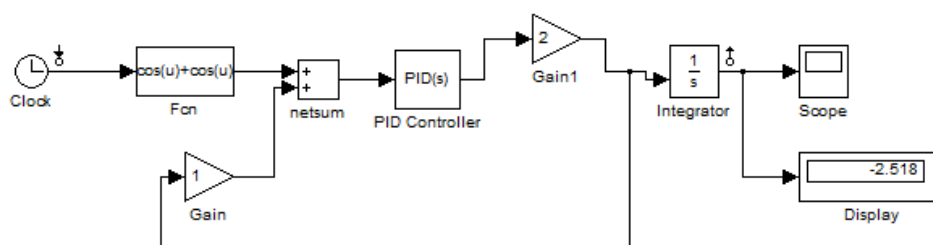


Рисунок 4.3 – Имитационная модель объекта с использованием ПИД-регулятора в интерфейсе Simulink Control Design

Наиболее простым является метод, базирующийся на использовании блоков PID-Controller в Simulink и на алгоритме настройки ПИД-регуляторов в интерфейсе Simulink Control Design.

Для использования этого метода собираем в Simulink систему управления, включив в нее блок PID Controller («ПИД-регулятор») из библиотеки Simulink/Continuous (рисунок 4.3).

На рисунке 4.4 в окне PID Tuner выведены графики переходных функций для системы с исходными и скорректированными параметрами ПИД регулятора.

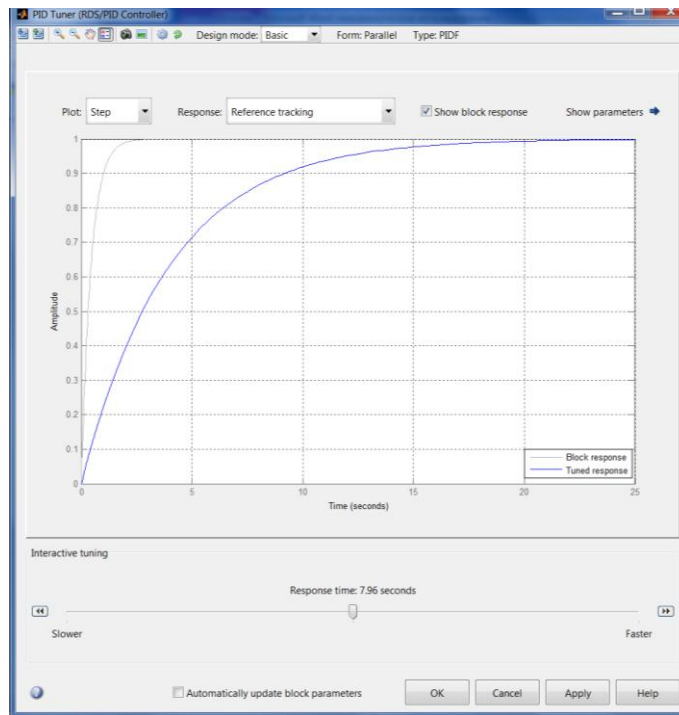


Рисунок 4.4 – Диалоговое окно блока PID Tuner

Автоматизированно в среде MATLAB&Simulink получены параметры ПИД-регулятора, рисунок 4.5.

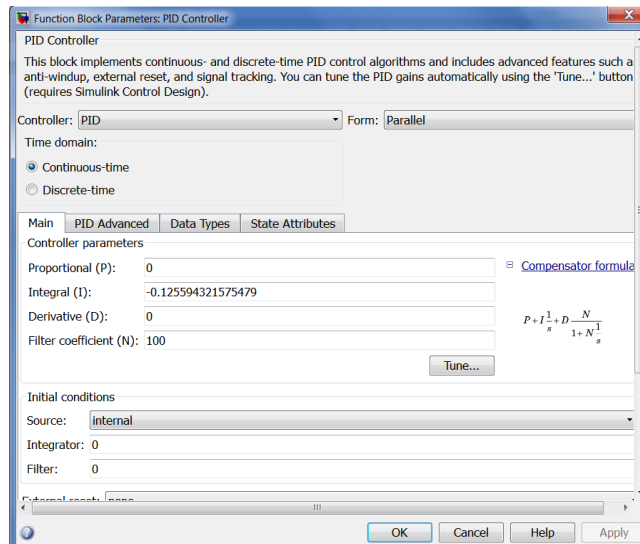


Рисунок 4.5 – Результаты параметрического синтеза ПИД-регулятора в среде Simulink

4.2 Исследование модели системы автоматического управления

Исследование устойчивости системы управления с ПИД-регулятором.

Строится имитационная модель САУ, рисунок 4.6.

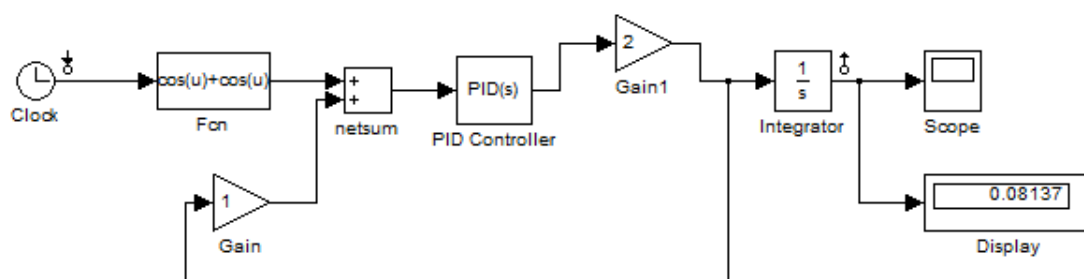


Рисунок 4.6 – Имитационная модель системы автоматического управления

Важной динамической характеристикой колебательных систем являются частотные характеристики, достоинство которых состоит в том, что частотные характеристики позволяют просто выявлять влияние того или иного параметра на динамические свойства системы (устойчивость, переходной процесс и т.д.). Частотные характеристики звеньев и систем строятся на основании их комплексных передаточных функций. Главным критерием работоспособности в режиме воздействия на него вибрационных нагрузок является амплитуда колебаний бункера и ее вторая производная ускорения.

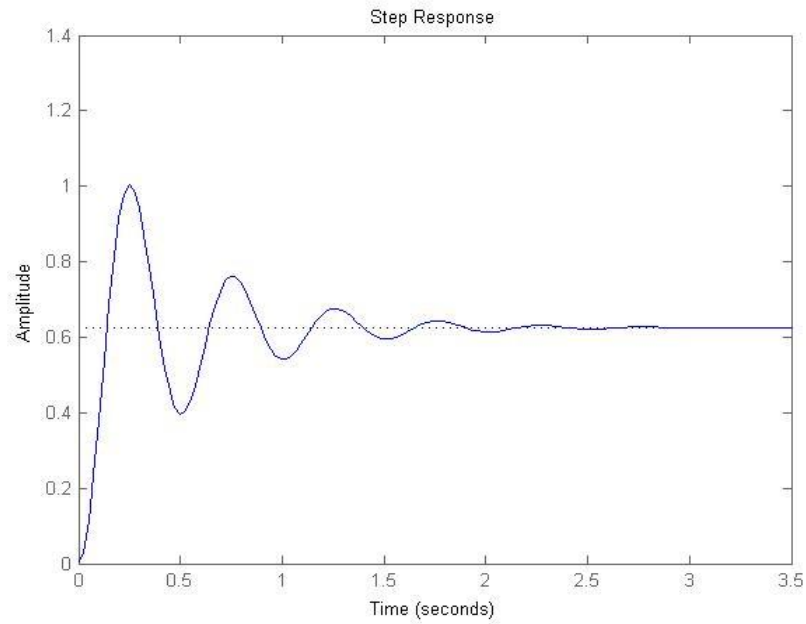


Рисунок 4.7 – График переходного процесса разомкнутой системы автоматического управления

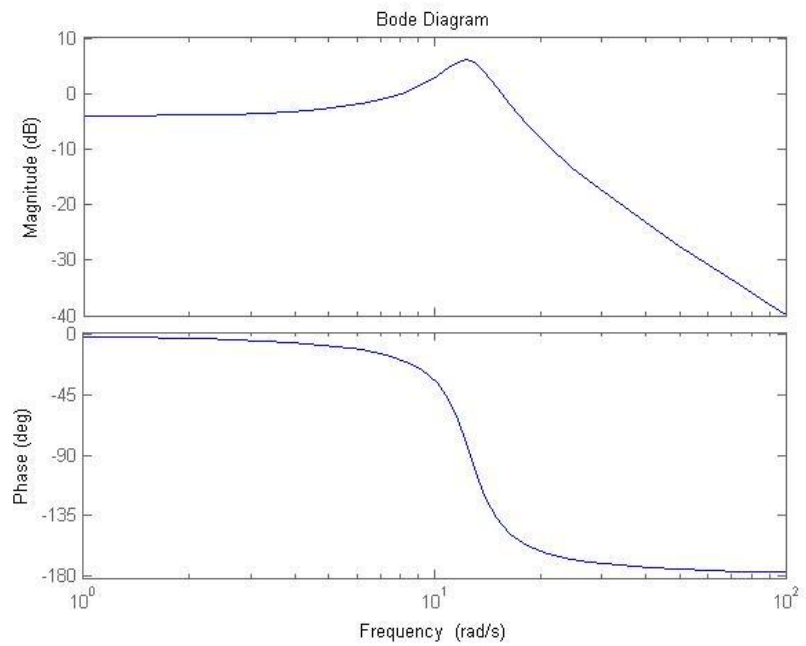


Рисунок 4.8 – Диаграмма Бode разомкнутой системы автоматического управления

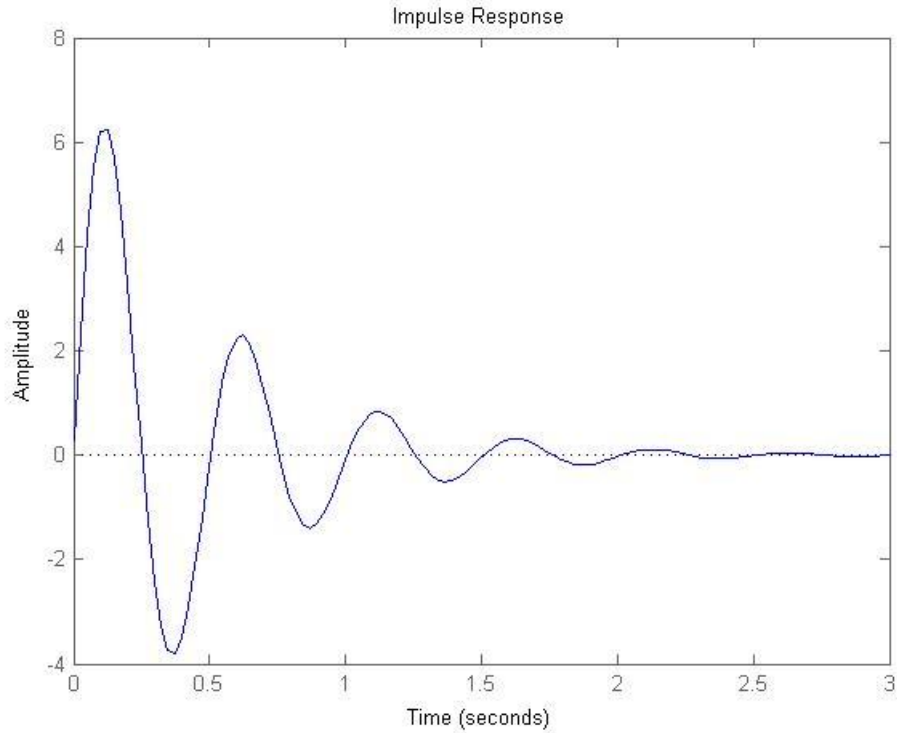


Рисунок 4.9 – Импульсная характеристика разомкнутой системы автоматического управления

4.2.1 Анализ устойчивости САУ на основе критерия Найквиста

Для определения устойчивости системы в среде MATLAB получен годограф Найквиста, рисунок 4.10.

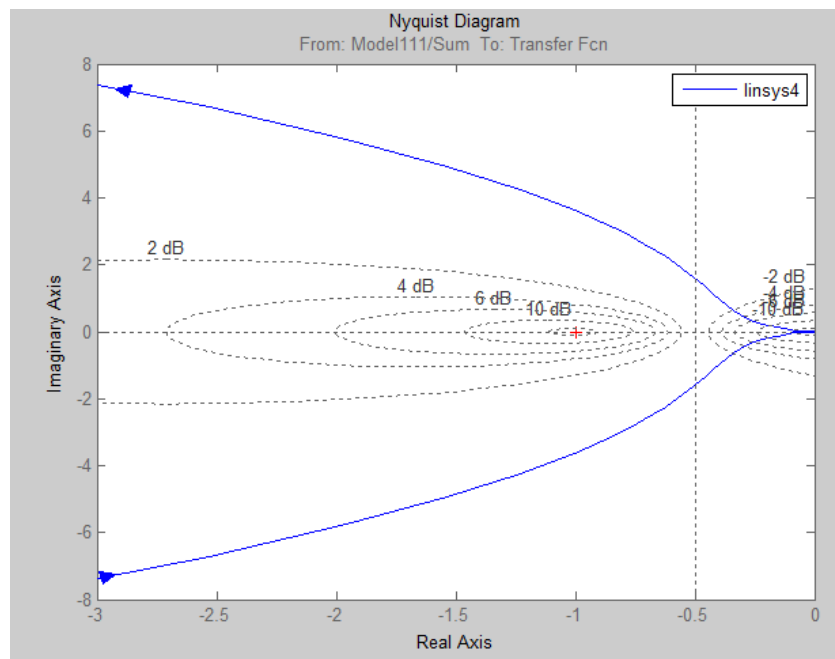


Рисунок 4.10 – Годограф Найквиста (увеличенный масштаб)

4.2.2 Анализ качества регулирования линейной системы

Исследуемая АСР устойчива, насколько качественно происходит регулирование в этой системе и удовлетворяет ли оно технологическим требованиям. Качество регулирования определено по графику переходной кривой и с помощью точного метода, дающего конкретные числовые значения.

Получена переходная характеристика, рисунок 4.11.

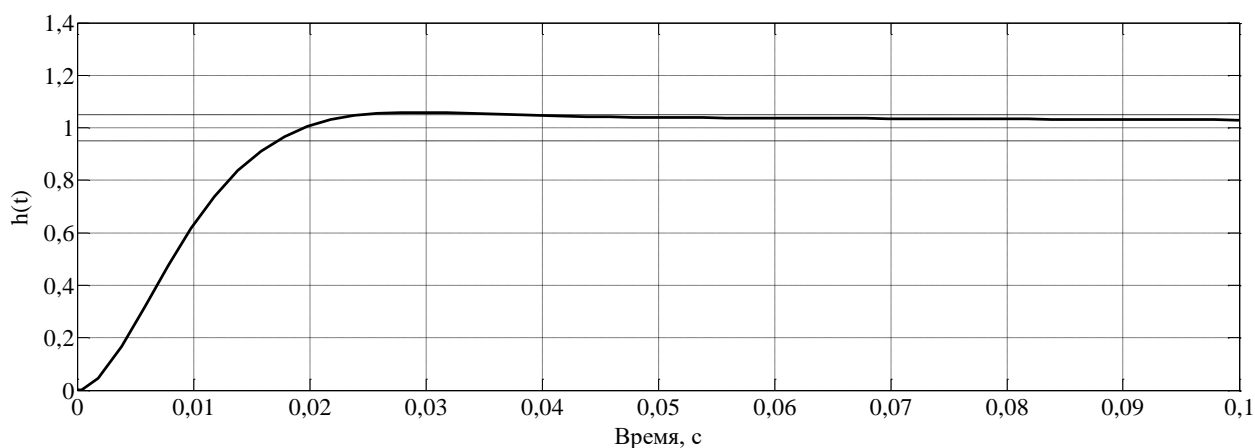


Рисунок 4.11– График переходной характеристики системы автоматического управления

С учетом характера полученной переходной характеристики определены часть прямых показателей качества:

$t_p = 0,034$ с – время регулирования (время переходного процесса);

$t_n = 0,0156 - 0,0029 = 0,0127$ с – время нарастания.

Процесс без перерегулирования.

4.3 Имитационная модель процесса виброформования изделий

С помощью математической модели описанной системой дифференциальных уравнений (формула 2.9) используя средства программы MATLAB&Simulink получена имитационная модель процесса виброформования изделий в кассетной установке (рисунок 4.12).

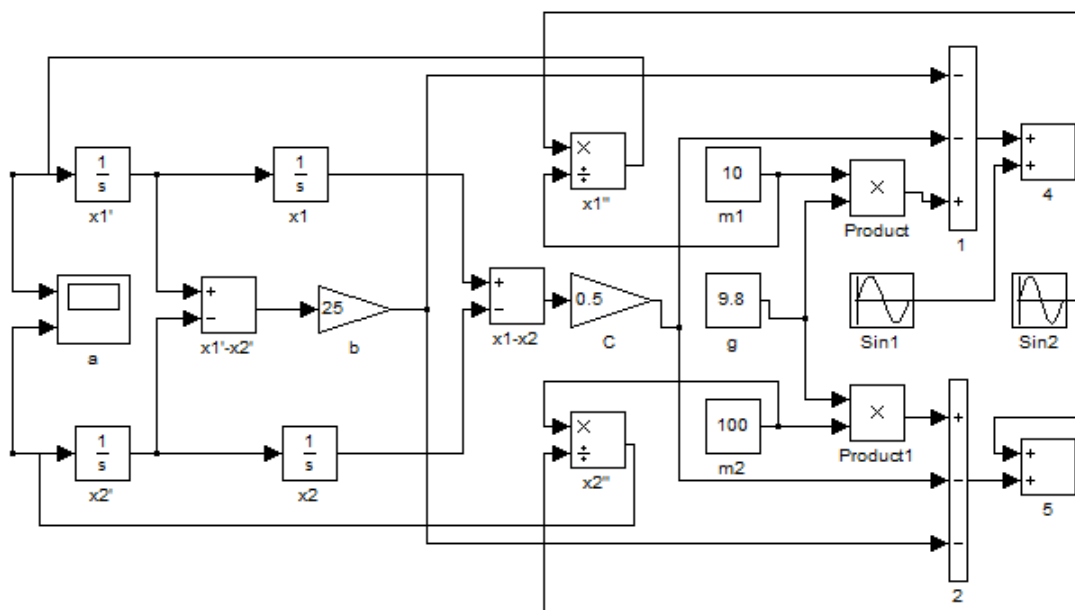
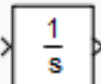








Рисунок 4.12– Модель объекта управления в среде Simulink

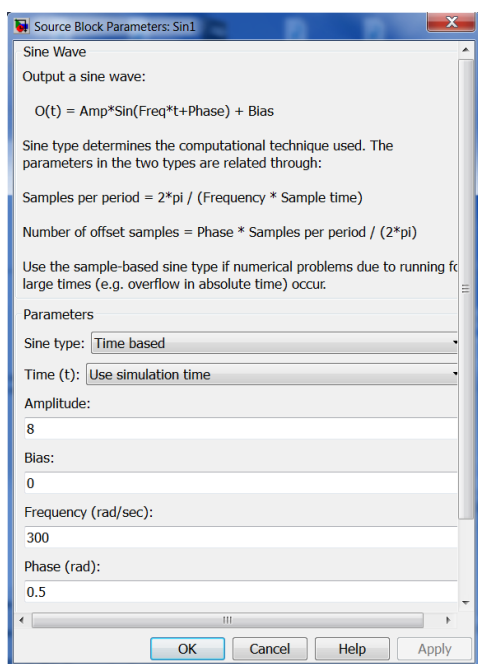
При составлении блочной модели в среде MATLAB&Simulink были использованы блоки:

- 1)  Integrator
- 2)  Constant
- 3)  Product
- 4)  Add
- 5)  Sine Wave
- 6)  Gain
- 7)  Scope

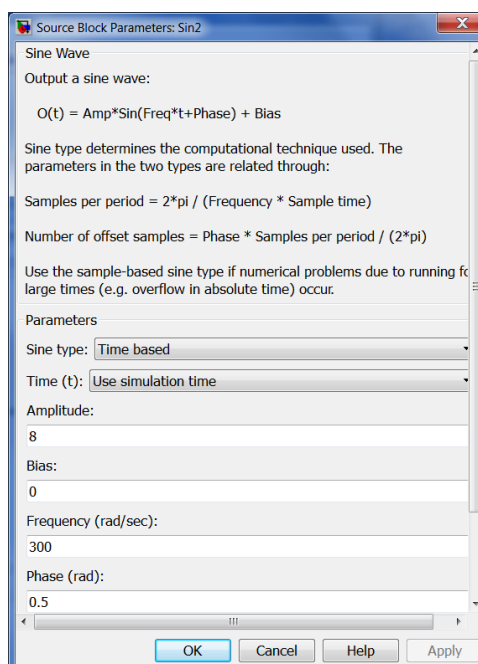
Блок Integrator выполняет интегрирование входного сигнала. Для введения в модель постоянных по значению величин используя блок Constant. Помимо постоянных, в модели присутствует величина, описываемая синусоидой. Для включения этого сигнала в моделирование, используется блок SineWave. Суммирование сигналов осуществляется с помощью блоков Add, а умножение – Product. Для оценки деятельности модели, в нее введены 2 блока Scope, которые позволяют анализировать графики, описывающие ускорение колебаний вибратора и вибрируемой конструкции.

Блоки SineWave используются для описания колебаний определенной частоты и фазы. Параметры блоков приведены на рисунке 4.13

а)



б)



а – параметры блока SineWave 1; б – параметры блока SineWave 2

Рисунок 4.13 – Параметры блоков SineWave

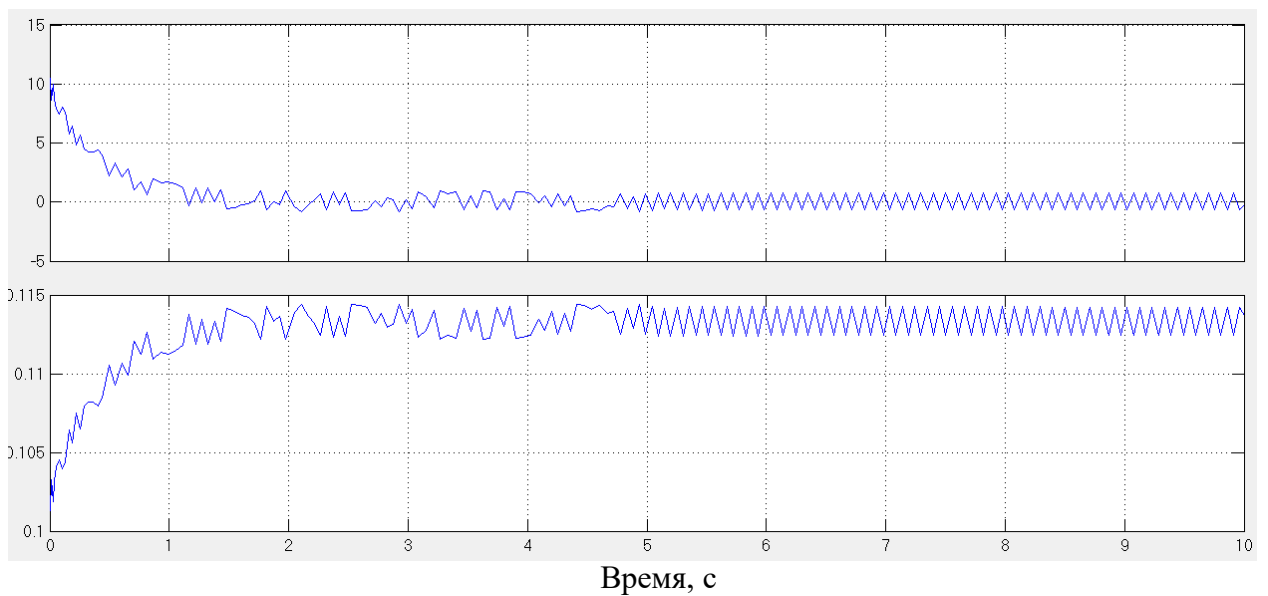
В модели используются 4 блока Constant:

$$m_1 = 10 \text{ кг}; m_2 = 100 \text{ кг}; g = 9,8 \text{ м/с}^2; t = 10 \text{ с}$$

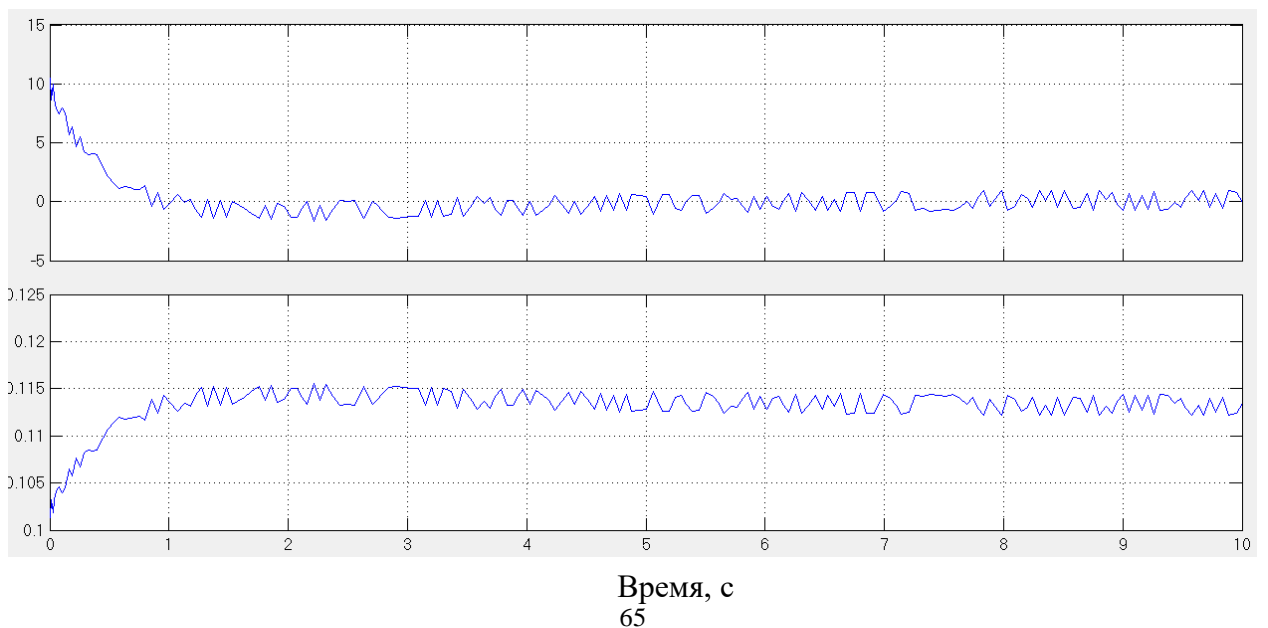
Для проведения исследования было принято менять значения 2 блоков в модели: C (блок Gain) и b . Значения C , используемые в процессе равны 0,5, 10 и 100 кН/м, а значения b – 25, 100, 200 Па/с.

Поочередно подставляя данные значения в соответствующие блоки необходимо провести моделирование для каждой комбинации и получить графики, построенные при помощи 2 блоков Scope. Результаты приведены на графиках:

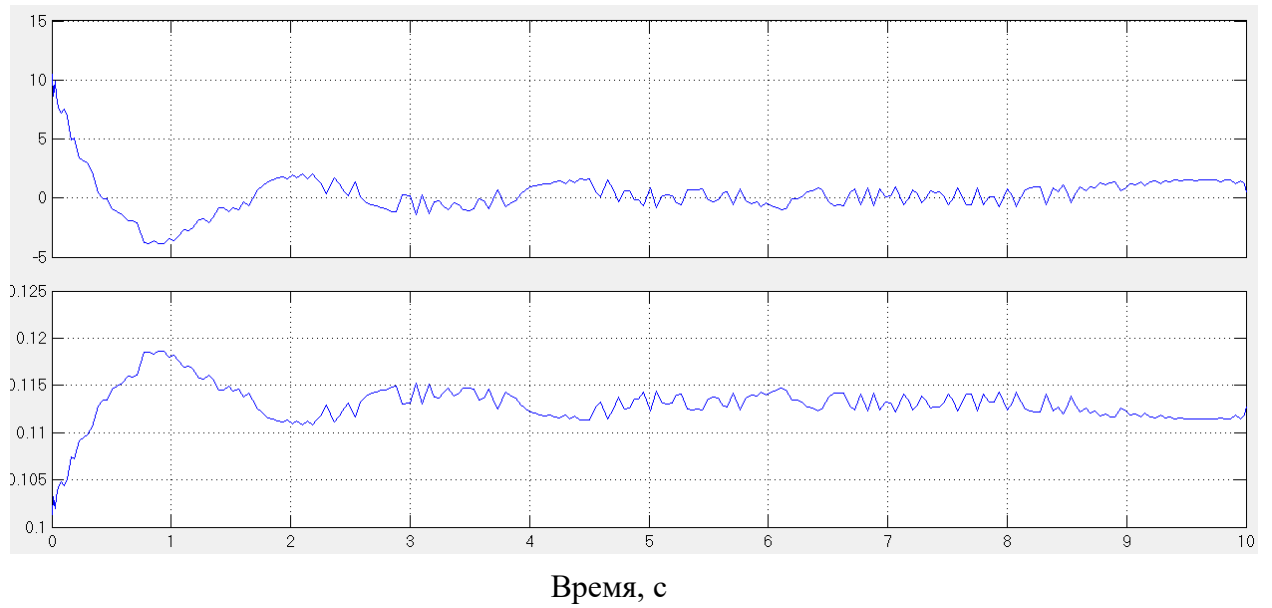
1) $b = 25$ Па/с; $C = 0,5$ кН/м



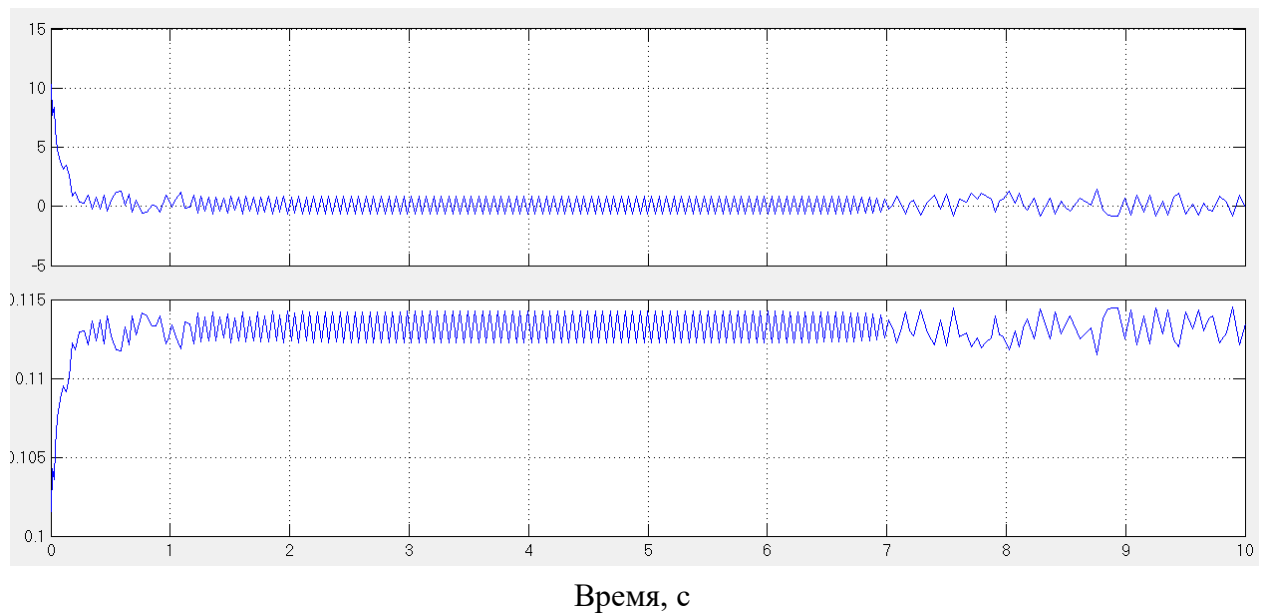
2) $b = 25$ Па/с; $C = 10$ кН/м



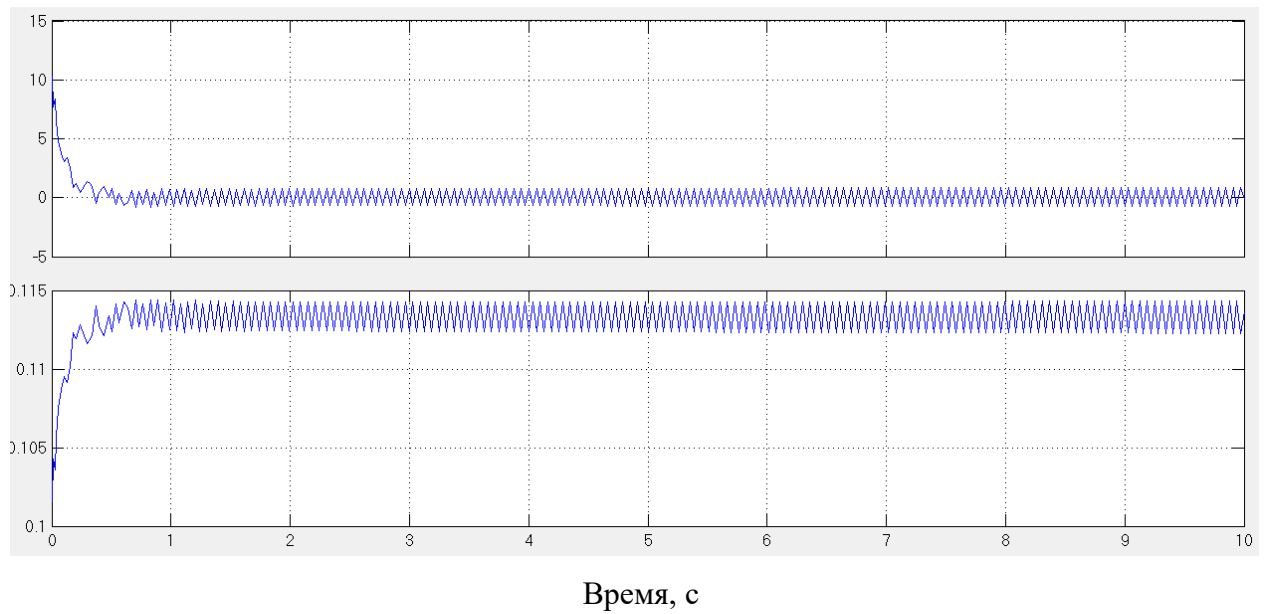
3) $b = 25 \text{ Па/с}; C = 100 \text{ кН/м}$



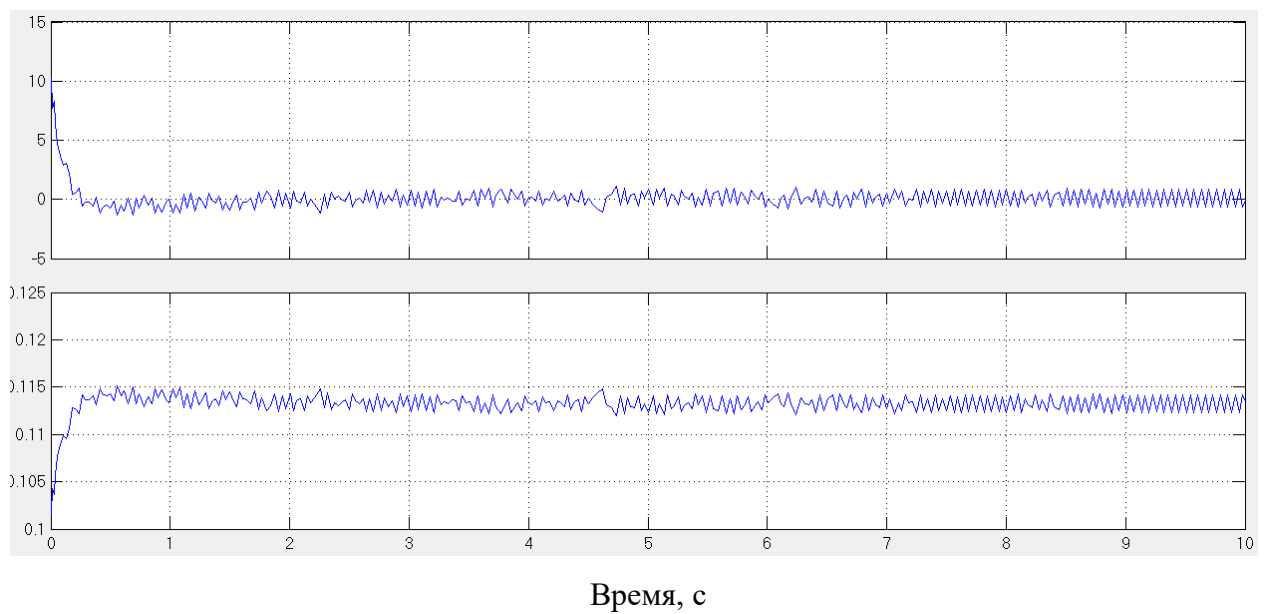
4) $b = 100 \text{ Па/с}; C = 0,5 \text{ кН/м}$



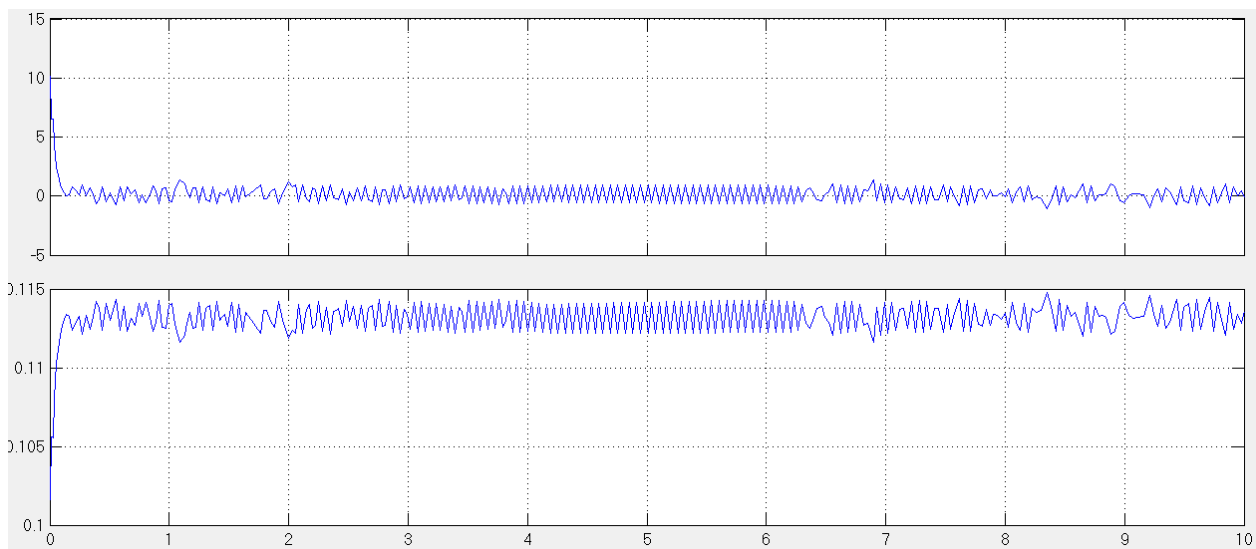
5) $b = 100 \text{ Па/с}$; $C = 10 \text{ кН/м}$



6) $b = 100 \text{ Па/с}$; $C = 100 \text{ кН/м}$

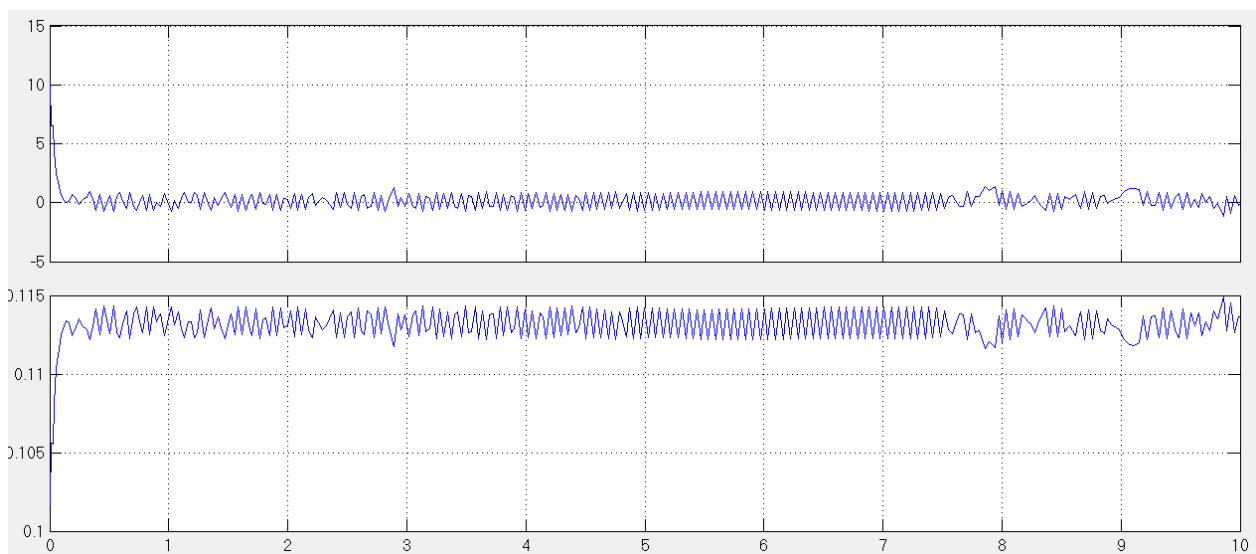


7) $b = 200 \text{ Па/с}$; $C = 0,5 \text{ кН/м}$

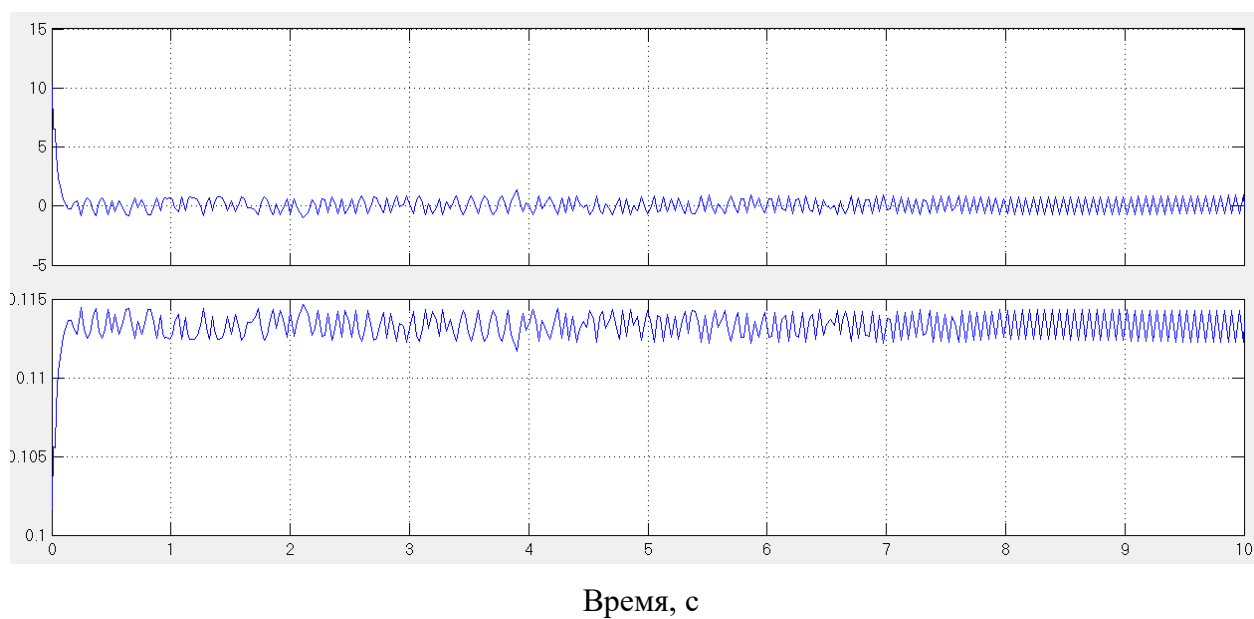


Время, с

8) $b = 200 \text{ Па/с}$; $C = 10 \text{ кН/м}$



9) $b = 200 \text{ Па/с}$; $C = 100 \text{ кН/м}$



ВЫВОДЫ

- 1) По графику переходного процесса система управления с ПИД-регулятором устойчивая.
- 2) По виду годографа Найквиста можно сделать вывод об устойчивости системы управления, так как он не охватывает точку $[-1, j]$.
- 3) Получен процесс без перерегулирования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании анализа проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1) Динамическое состояние виброформовочного оборудования характеризуется направленностью вибрационного воздействия вынуждающего усилия вибратора относительно вертикальной и горизонтальной плоскостей в зависимости от угла наклона стенок бункера. Для получения коэффициента передачи нагрузки на подъемный механизм меньше единицы требуется выполнение угла наклона стенок бункера в пределах 25 –35 град.

2) Сформулированы требования виброзащиты, заключающиеся в таком выборе жесткости упругого элемента и степени демпфирования, чтобы коэффициент передачи нагрузки на грузоподъемное оборудование был меньше единицы.

3) Реализация аналитических зависимостей колебательного процесса оборудования показала, что виброускорения и амплитуда колебаний бункера уменьшаются с увеличением плотности шихты и жесткости амортизатора при времени вибрирования до 200с. С увеличением времени вибрирования с 200 до 300 с амплитуда колебаний снижается на 10%, ускорения увеличиваются незначительно, не превышая нормативных значений.

4) По полученным данным была успешно создана имитационная модель процесса виброформования изделий. В результате, разработана система управления, включающая цифровой ПИД-регулятор, который наилучшим образом обеспечивает астатическое регулирование скорости в заданном

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Александров, В.Н. Отравляющие вещества: учебное пособие, 2-е изд. / В.Н. Александров.- Москва: Воениздат, 1990. – 271 с.
- 2 Белов, В.В. Краткий курс материаловедения и технологии конструкционных материалов для строительства: учебное пособие, 2-е изд. / В.В. Белов. – Тверь: ТГТУ, 2005. – 180 с.
- 3 Вознесенский, А.А. Повышение эффективности установок промышленной теплотехники / А.А. Вознесенский. – Москва: Энергия, 1965. – 344 с.
- 4 Живов, М.С. Подготовка трасс электропроводок и кабельных линий: издание 2 / М.С. Живов. – Москва: Энергия, 1971. - 80 с.
- 5 Золотницкий, Н.Д. Охрана труда в строительстве: учебник для вузов / Н. Д. Золотницкий, В. А. Пчелинцев. - Москва: Высшая школа, 1978. - 407 с.
- 6 Колодзий, И.И. Машинист бетоноукладчика и формовочного оборудования: учебник, 3-е изд. / И. И. Колодзий. -.Москва: Высшая школа, 1970. - 352 с.
- 7 Комар, А.Г. Строительные материалы и изделия: учебник для инженерно-экономических специальностей строительных вузов, 5-е изд./ А.Г. Комар. – Москва: Высшая школа, 1988. 527 с.
- 8 Микульский, В.Г. Строительные материалы (Материаловедение и технология): учебное пособие / В.Г. Микульский, Г.П. Сахаров – Москва: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2007. - 520 с.
- 9 Муравьева, С.И. Санитарно-химический контроль воздуха промышленных предприятий/ С. И. Муравьева, М. Д. Бабина, А. Г. Атласов, И. С. Новикова; Под ред. С. И. Муравьевой. – Москва: Медицина 1982. 352 с.
- 10 Мясковский, И.Г. Основы автоматизации производства: учебник / И.Г. Мясковский. – Москва: Высшая школа, 1968. 400 с.

11 Основин, В.Н. Справочник по строительным материалам и изделиям / В. Н. Основин, Л. В. Шуляков, Д. С. Дубяго. – Москва: Феникс, 2008. 448 с.

12 Рыбьев, И.А. Строительное материаловедение: учебное пособие для строительных специальностей вузов, 2-е изд. / И.А. Рыбьев. – Москва: Высшая школа, 2004. – 701 с.

13 Смирницкий, Е.К. Экономические показатели промышленности / Е.К. Смирницкий. – Москва: Экономика, 1989. 432 с.

14 Сулименко, Л.М. Технология минеральных вяжущих материалов и изделий на их основе/ Л.М. Сулименко.- Москва: Высшая школа, 2005. 334 с.

15 Фиделев, А.С. Строительные машины: учебник для инженерно-строительных вузов и факультетов, 4-е изд. / А.С. Фиделев.- Киев. : Вища школа, 1979г. 336 с

16 Чаус, К.В. Технология производства строительных материалов, изделий и конструкций / К.В. Чаус, Ю.Д. Чистов, Ю.В. Лабзина. – Москва: Стройиздат, 1988, 448 с.

17 Емельянов Р.Т. Исследование процесса вибрационного формования инженерного обустройства автомобильных дорог. Р.Т. Емельянов, А. П. Прокопьев, Е. С. Турышева, П. А. Постоев. Строительные и дорожные машины, 2010, № 10. С. 44-48

18 Емельянов Р.Т. Формование строительных изделий конвейерной системой VIII Всероссийская научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященная 155-летию со дня рождения К. Э. Циолковского 2012

19 Губарева В.В. Теплотехника и теплотехническое оборудование технологии строительных изделий. Термовлажностная обработка бетонных и железобетонных изделий: Учебное пособие, В.В. Губарева. Белгород, 2004. .

20 Кокшарев В.И. Тепловые установки. В.И. Кокшарев, А.А. Кучеренко. Киев : Вища школа, 1990.

21 Перегудов В. В. Теплотехника и теплотехническое оборудование : Учеб. для техникумов. В.В. Перегудов ; под ред. Н. Ф. Еремина. М. : Стройиздат, 1983.

22 Баженов Ю.М. Технология бетона. Ю.М. Баженов. М.: Изд-во АСВ, 2003.

23 Медведько С. В. Методические указания к курсовому проекту по дисциплине «Проектирование предприятий по производству строительных материалов, изделий и конструкций», ВолгГАСА. — Волгоград, 2000.

24 Михайлова К. В. Справочник «Производство железобетонных изделий», — 2 изд., перераб. и доп. — М.: Стройиздат, 1989.

25 Федеральное государственное бюджетное учреждение Федеральный институт промышленной собственности. Информационные ресурсы. Информационно-поисковая система [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www1.fips.ru>.

26 Патентный закон Российской Федерации [Электронный ресурс] – <http://www.consultant.ru>.

27 Бесекерский, В. А. Теория автоматического управления: учебное пособие / В.А. Бесекерский, Е.П. Попов. – Санкт-Петербург: Изд-во «Профессия», 2003. – 751 с.

28 Мирошник, И. В. Теория автоматического управления. Линейные системы: учебное пособие / И. В. Мирошник. – Санкт-Петербург: Изд-во «Питер», 2005. – 336 с.

29 Щербаков, В.С. Теория автоматического управления. Линейные непрерывные системы: учебное пособие / В.С. Щербаков, И.В. Лазута. – Омск: СибАДИ, 2013. – 142 с.

30 Щербаков, В.С. Основы моделирования систем автоматического регулирования и электротехнических систем в среде MatLab и Simulink: учебное пособие / В.С. Щербаков, А.А. Руппель, В.А. Глушеч. – Омск: Изд-во СибАДИ, 2003. – 160 с.

31 Щербаков В.С. Теория автоматического управления: методические указания по выполнению курсовых работ (для студентов специальностей 220301, 140607) / В.С. Щербаков, Р.Ю. Сухарев. – Омск: СибАДИ, 2011. – 36 с.

32 Юревич, Е.И. Теория автоматического управления. – 3-е издание. / Е. И. Юревич. – Санкт-Петербург: Изд-во «БХВ-Петербург», 2007. – 560 с.

33 Емельянов, С.Г. Роботизация и автоматизация строительных процессов / С.Г. Емельянов, А.Г. Булгаков, Л.М. Червяков и др.; Минобрнауки России, Юго-Зап. гос. ун-т. – Курск : ЮЗГУ, 2014. – 322 с.

34 Беляев, К.В. Уплотнение упруговязкопластичных смесей: особенности теории расчета: монография / К.В. Беляев, В.С. Серебренников, С.В. Савельев ; СибАДИ. – Омск : СибАДИ, 2014.

35 Тихонов, А.Ф. Автоматизация строительных и дорожных машин [Электронный ресурс]: учебное пособие / А.Ф. Тихонов, С.Л. Демидов, А.Н. Дроздов. – Электрон. текстовые данные. – Москва: Московский государственный строительный университет, ЭБС АСВ, 2013. – 254 с. – Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/23716>.

36 Булгаков, А.Г. Автоматизация и роботизация строительства : учебное пособие / А.Г. Булгаков, В.А. Воробьев, С.И. Евтушенко, Д.Я. Паршин. – 2-е изд. – Москва : РИОР : ИНФРА-М, 2013. – 450 с.

37 Беляев, К.В. Укладка и уплотнение асфальтобетонных смесей. Теория и расчет : учебное пособие / К.В. Беляев, В.С. Серебренников. – Омск : СибАДИ, 2015. – 208 с.

38 Щербаков, В.С. Теория автоматического управления. Линейные непрерывные системы: учебное пособие / В.С. Щербаков, И.В. Лазута. – Омск: СибАДИ, 2013. – 142 с.

39 Галдин, Н.С. Теория и проектирование гидропривода [Электронный ресурс] : учебное пособие / Н.С. Галдин, И.А. Семенова. – Омск : СибАДИ, 2016.

40 Щербаков, В.С. Совершенствование системы управления рабочим органом цепного траншейного экскаватора: монография / В.С. Щербаков, Р.Ю. Сухарев. – Омск: СибАДИ, 2011. – 152 с.

41 Кудрявцев, Е.М. Системы автоматизированного проектирования машин и оборудования. – Москва: Издательство АСВ, 2013. – 383 с.

42 Евтюков, С.А. Построение математических моделей и систем автоматизированного проектирования подъемно-транспортных и строительно-дорожных машин [Электронный ресурс]: учебное пособие / Евтюков С.А., Овчаров А.А., Замараев И.В. – Электрон. текстовые данные. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2011. – 44 с. – ЭБС «IPRbooks».

43 Евтюков, С.А. Построение механореологических моделей процессов взаимодействия рабочих органов строительно-дорожных машин со средой [Электронный ресурс]: учебное пособие / Евтюков С.А., Овчаров А.А., Замараев И.В. – Электрон. текстовые данные. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2011. – 59 с.

44 Доценко А.И., Дронов В.Г. Строительные машины: Учебник для вузов / А.И. Доценко, В.Г. Дронов. – Москва: Инфра-М, 2012. – 553 с.

45 Доценко, А.И. Машины для земляных работ / А.И. Доценко и др. – Москва: «Изд. Дом «БАСТЕТ», 2012. – 688 с.

46 Илюхин, А.В. Математическое описание объектов автоматизации строительного производства: учебное пособие / А.В. Илюхин, А.М. Колбасин, В.И. Марсов. – Москва: МАДИ, 2016. – 104 с.

47 Прокопьев, А.П. Комплексная автоматизация технологических процессов устройства дорожных покрытий: монография / А.П. Прокопьев, Р.Т. Емельянов. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2011. – 152 с. : ил. – Библиогр.: с. 131-134. – 100 экз. – ISBN 978-5-7638-2284-7. – Электронный вариант издания см.: <http://catalog.sfu-kras.ru>; http://lib3.sfu-kras.ru/ft/lib2/elib_bas/u62/i-154460.pdf.

48 Прокопьев, А.П. Методы управления технологическими процессами строительства асфальтобетонных покрытий: монография / А.П. Прокопьев, Р.Т. Емельянов, В.И. Иванчура. – 2-е изд., перераб. и доп. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2012. – 255 с. : ил. – Библиогр.: с. 213-233. – 100 экз. – ISBN 978-5-7638-2585-5. – Изд. № 7994. Электронный вариант издания см.: <http://catalog.sfu-kras.ru>; http://lib3.sfu-kras.ru/ft/lib2/elib_bas/u62/i-878404.pdf.

49 Прокопьев, А.П. Автоматизация технологических процессов дорожного строительства: монография / А.П. Прокопьев, В.И. Иванчура, Г.В. Кустарев, Р.Т. Емельянов. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2013. – 245 с. : ил. – Библиогр.: с. 223-244. – 100 экз. – ISBN 978-5-7638-2868-9. – Изд. № 2489. – Электронный вариант издания см.: <http://catalog.sfu-kras.ru>; http://lib3.sfu-kras.ru/ft/lib2/elib_tech/u62/i-982069.pdf.

50 Щербаков, В.С. Совершенствование системы управления выглаживающей плитой асфальтоукладчика : монография / В.С. Щербаков, С.А. Милюшенко. – Омск: СибАДИ, 2010. – 79 с.

51 Савельев, С.В. Уплотнение грунтов катками с адаптивными рабочими органами: монография / С. В. Савельев. – Омск: СибАДИ, 2010. – 122 с.

52 Климов А. С. Методы решения научно-технических задач в строительстве: учеб. пособие для самостоятельной работы / А.С.Климов. - Красноярск: СФУ, 2016. - 17 с.

53 Пономарев А. Б. Методология научных исследований: учеб. пособие / А.Б.Пономарев, Э.А.Пикулева. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. поли- техн. ун-та, 2014. – 186 с.

54 Степанчикова М. А. Учимся изобретать: учеб. пособие для учащихся школ, учр-й нач. проф. и доп. образования / М.А.Степанчикова [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://www.narod-akademia.com>.

55 Каширин, В. П. Теория научного исследования / В. П. Каширин. – Красноярск: КрасГАУ, 2007. - 184 с.

56 Лапко А.В., Лапко В.А., Соколов М.И., Молоков В.В., Шерстяных А.К., Шарков М.А., Лапко О.А. Обучающиеся системы принятия решений: конспект лекций. – Красноярск: ПИ СФУ, 2007.

57 Сидняев, Н. И. Теория планирования эксперимента и анализ статистических данных: учебное пособие для магистров и аспирантов вузов по спец. "Прикладная математика" / Н. И. Сидняев. - Москва: Юрайт, 2012.

58 Климов А. С. Методы решения научно-технических задач в строительстве: учеб. пособие для практических занятий / А.С.Климов. - Красноярск: СФУ, 2016. - 17 с.

59 Емельянов Р. Т. Методы решения научно-технических задач в строительстве: лаб. практикум [Электронный ресурс] / сост. Р.Т. Емельянов, Е.С. Турышева. – Электрон. дан. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2014. – Загл. с экрана.

60 Дьяконов В.П., Абраменкова И.В. MatLab. Обработка сигналов и изображений. Специальный справочник. – СПб.: ПИТЕР, 2002.

61 Дьяконов В.П. MATLAB 6. Учебный курс. – СПб.: Питер, 2001. – 592 с.

62 Бондаренко В.Ф., Дубовец В.Д. MATLAB. Основы работы и программирования. Компьютерная математика. Учебный курс / В.Ф. Бондаренко, В.Д. Дубовец.– Минск: Харвест, 2010. – 256с.

63 Построение графических моделей в среде MATLAB: учеб.-метод. пособие / В.Д. Дубовец, В.А. Столер, В.Ф. Бондаренко. – Минск: БГУИР, 2014. – 70 с. ISBN 978-985-543-072-9.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

СПИСОК УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

- P_y – сила упругости;
- P_d – усилие демпфирования
- P_{yc} – сила упругости системы до начала вибрирования.
- F_d – рабочая площадь демпфера;
- ρ_∂ – перепад давления в полостях бункера и "сот" кассеты
- K_C – проводимость отверстий "сот"
- m_0 – масса колебательной системы;
- ρ – плотность арболитовой смеси;
- x, \dot{x}, \ddot{x} – перемещение, скорость и ускорение системы соответственно;
- b_2 – вязкость арболитовой смеси;
- c_2 – жесткость бункера;
- c_1 – жесткость амортизатора;
- g – ускорение свободного падения;
- m_g – масса вала вибратора;
- R – радиус эксцентриситета;
- ω – частота вращения вала вибратора;
- t – время работы,
- γ – угол наклона стенки бункера
- x_a и y_a – амплитудные значения перемещений;
- φ – угол сдвига фаз между вынужденными колебаниями и вынуждающей силой
- m – масса вала дебаланса;
- R – радиус дебаланса;
- q – линейное давление;
- l – длина вала
- τ, τ_0 – полное и начальное напряжение сдвига соответственно;

μ – пластическая вязкость смеси;

$\frac{dU}{dx}$ – скорость сдвига

ρ_n, V_n – плотность и объем "пузырей" соответственно;

ρ_c – плотность смеси в момент времени t ;

U_n – скорость "пузырей" при движении в тяжелой жидкости
(вибрированной смеси);

μ – коэффициент трения.

ρ_c – исходная (загрузочная) плотность смеси; P – вынуждающая сила
вibrатора

t_p – время регулирования (время переходного процесса);

t_n – время нарастания;

σ – перерегулирование;

μ – колебательность;

ψ – степень затухания;

$\Delta_{ст}$ – статическая ошибка

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

ЭВМ – электронно-вычислительная машина

ПИД-регулятор – пропорционально-интегрально-дифференцирующий регулятор

САУ – система автоматического управления

АСР – автоматизированная система регулирования

ПРИЛОЖЕНИЕ В

ПУБЛИКАЦИИ

1. Моделирование процесса виброформования вертикального типа

При вертикальном способе формования строительных изделий применяется установка в виде конвейерной схемы с движением кассеты через бункер со смесью сверху вниз. Устройство машины для вертикального формования строительных смесей приведено на рисунке.

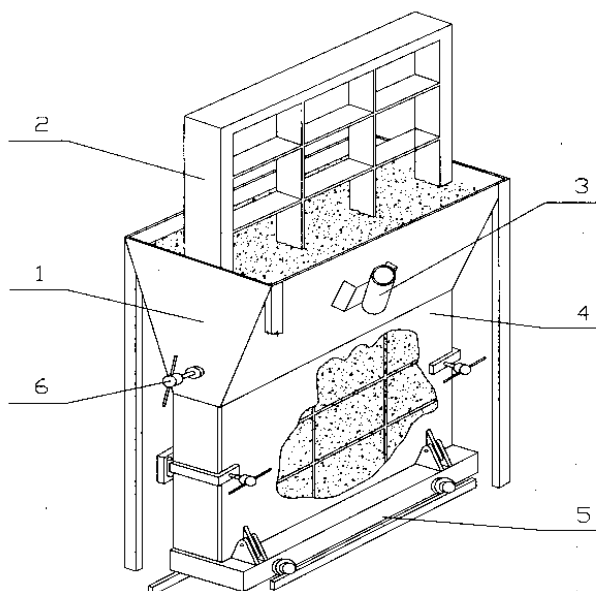


Рисунок 1 - Установка вертикального формования

1- Рама; 2 – кассета; 3 – вибратор; 4 – боковина; 5 – основание;

6 – упоры

Механизм подъема виброформовочной установки осуществляет перемещение рабочей кассеты. При этом "соты" рабочей кассеты под воздействием сил вибрации, создающихся вибратором, заполняется строительной смесью. Вибратор жестко закреплён на боковой поверхности бункера установки. Механизм подъема 5 установлен в нижней части рамы 1 формовочной установки. Сверху через амортизирующие элементы 1 на раме закреплён бункер для строительной смеси. Вращающиеся неуравновешенные

массы вызывают как местную, так и общую вибрацию оборудования. В таком случае имеем динамическую систему с упругими связями [1].

При движении через строительную смесь кассета преодолевает сопротивление смеси, которое уменьшается под воздействием вибрационной среды, создаваемой вибратором установки. С помощью вибрации осуществляется передвижение строительной смеси в направлении движения кассеты, а также заполнение "сот" кассеты строительной смесью [2].

Дифференциальное уравнение колебаний массы m_1 будет иметь вид:

$$m_1 \ddot{z}_1 + \beta_1 \dot{z}_1 + c_1 z_1 = P(t);$$

Полагая, что $P = P_0 \sin \omega t$, уравнение примет вид:

$$\ddot{z}_1 + 2g \dot{z}_1 + \nu^2 z_1 = P_0/m_1 \sin \omega t ;$$

Решение этого неоднородного дифференциального уравнения будет:

$$z_1 = A \cos \omega t + B \sin \omega t;$$

После преобразования получим:

$$\begin{cases} (\nu^2 - \omega^2)A + 2g\omega B = 0 \\ -2g\omega A + (\nu^2 - \omega^2)B = \frac{P_0}{m_1} ; \end{cases}$$

где
$$\nu = \sqrt{\frac{c_1}{m_1}}; \quad 2g = \frac{\beta_1}{m_1}.$$

Из последней системы уравнений находим неизвестные амплитуды А и В:

$$\begin{cases} A = -\frac{P_0}{m_1} \cdot \frac{2g\omega}{(v^2 - \omega^2)^2 + 4g^2\omega^2}; \\ B = \frac{P_0}{m_1} \cdot \frac{v^2 - \omega^2}{(v^2 - \omega^2)^2 + 4g^2\omega^2} \end{cases};$$

Динамическое состояние виброформовочного оборудования характеризуется степенью влияния колебательного процесса в зависимости от жесткости виброгасителей, степени демпфирования и реологии шихты строительного раствора.

При варьировании жесткости амортизатора от $20 \cdot 10^6$ Н/м до $70 \cdot 10^6$ Н/м. При этом амплитуда колебаний изменялась в вертикальной плоскости от 0,056 до 0,4 мм; в горизонтальной плоскости - от 0,02 до 0,16 мм. Ускорения изменялись соответственно от 0,5 до 2,7 $м/с^2$, а также от 0,3 до 1,8 $м/с^2$.

Модель процесса вертикального виброформования, описанная в среде Simulink приведена на рисунке 2.

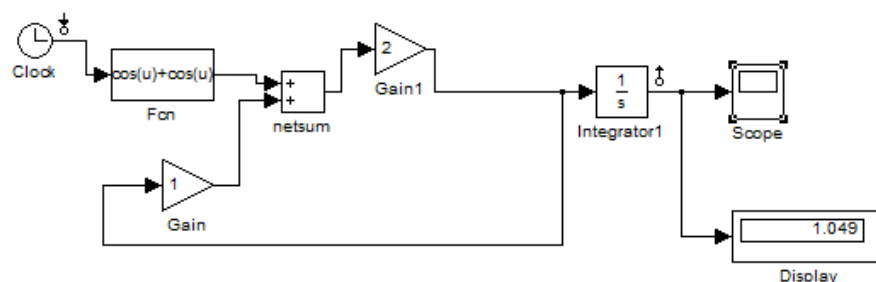


Рисунок 2 – Модель, описанная в среде SIMULINK

В модели были использованы: CLOCK – время; GAIN – усилитель; Fcn – функция; SCOPE – осциллограф; NETSUM – сумматор; INTEGRATOR – интегратор.

Амплитудно-частотная характеристика процесса выполняет линейризацию модели и строит реакцию системы на единичное ступенчатое воздействие. Результат выполнения данного действия показан на графике 1.

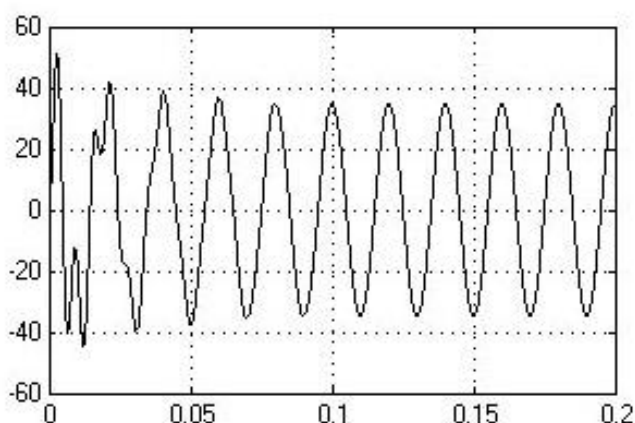


График 1 - Амплитудно-частотная характеристика процесса

Литература

1 *Емельянов Р.Т.* Исследование процесса вибрационного формирования инженерного обустройства автомобильных дорог. Р.Т. Емельянов, А. П. Прокопьев, Е. С. Турышева, П. А. Постоев. Строительные и дорожные машины, 2010, № 10. С. 44-48

2

Емельянов Р.Т.

Формование строительных изделий конвейерной системой VIII Всероссийская научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященная 155-летию со дня рождения К. Э. Циолковского 2012 г

3 *Губарева В.В.* Теплотехника и теплотехническое оборудование технологии строительных изделий. Термовлажностная обработка бетонных и железобетонных изделий: Учебное пособие, В.В. Губарева. Белгород, 2004.

4 *Кокшарев В.И.* Тепловые установки. В.И. Кокшарев, А.А. Кучеренко. Киев : Виццашкола, 1990

5 *Перегудов В. В.* Теплотехника и теплотехническое оборудование : Учеб. для техникумов. В.В. Перегудов ; под ред. Н. Ф. Еремина. М. : Стройиздат, 1983

6 *Баженов Ю.М.* Технология бетона. Ю.М. Баженов. М.: Изд-воАСВ, 2003

Статья опубликована в журнале «Молодой ученый» №14 (118), июль – 2 2016 г. (стр. 199-200)

2 Динамика работы привода виброформовочной установки

При вертикальном способе формования строительных изделий применяется установка в виде конвейерной схемы с движением кассеты через бункер со смесью сверху вниз.

Можно считать, что при постоянной амплитуде колебаний вибровозбудителя силы вязкого сопротивления цементного теста растут пропорционально скорости, т.е. пропорционально частоте колебаний, а инерционные силы увеличиваются пропорционально квадрату частоты колебаний. Таким образом, абсолютные перемещения более мелких частиц уменьшаются с увеличением частоты колебаний, а это в совокупности с фазовыми сдвигами приводит к росту их проскальзывания относительно окружающей среды. Этим объясняется целесообразность повышения частоты колебаний при формовании смесей с мелким заполнителем. При уменьшении силы сцепления частиц при вибрировании их силы тяжести оказываются достаточными для преодоления сил трения, т. е. происходит уменьшение кажущегося коэффициента трения.

Виброформование строительной смеси осуществляется при подъеме рабочей кассеты виброформовочной установки грузоподъемником. Грузоподъемник установлен в нижней части рамы формовочной установки. Сверху через амортизирующие элемент на раме закреплён бункер для строительной смеси.

Процесс виброформования состоит из:

- вертикального выдвигания штока гидроцилиндра с рабочей кассетой в режиме вибрирования строительной смеси в бункере установки;
- опускания рабочей кассеты с «сота́ми», заполненными строительной смесью, из бункера вниз.

При движении через строительную смесь кассета преодолевает со-

противление смеси, которое уменьшается под воздействием вибрационной среды, создаваемой вибратором установки. Под воздействием вибрации изменяется не только видимый, но и действительный коэффициент трения вследствие происходящих физико-механических процессов, например, из-за выделения жидкой фазы на трущихся поверхностях кассеты. С помощью вибрации осуществляется передвижение строительной смеси в направлении движения кассеты, а также заполнение «сот» кассеты строительной смесью.

Направленное передвижение строительной смеси способствует улучшению движения рабочей кассеты при её извлечении из бункера со смесью. Извлеченная кассета поворачивается из вертикального положения в горизонтальное вторым гидроцилиндром. На конструкцию оборудования воздействует колебательный процесс работы вибратора.

Для уменьшения степени воздействия вибрации рама формовочной установки соединена с бункером через амортизирующие элементы.

Подъем кассеты через бетонную смесь цилиндром грузоподъемника обеспечивается при соблюдении условия:

$$P_{\Gamma} \geq W. \quad (1)$$

Уравнение движения этой системы имеет вид

$$P_{\Gamma} - mg - P_{\gamma} - P_{\text{д}} = m \frac{d^2 z}{dt^2}, \quad (2)$$

Жесткость C_{γ} определяется:

$$C_{\gamma} = P_{\gamma c} + C(Z_1 - Z), \quad (3)$$

где $P_{\gamma c}$ – сила упругости системы до начала вибрирования.

$$P_{\gamma c} = mg, \quad (4)$$

Сила от действия демпфера при заполнении "сот" кассеты

$$P_{\text{д}} = \rho_{\text{д}} F_{\text{д}}, \quad (5)$$

где $F_{\text{д}}$ – рабочая площадь демпфера; $\rho_{\text{д}}$ – перепад давления в полостях бункера и "сот" кассеты.

Расход смеси при заполнении "сот" пропорционален давлению

$$Q_C = K_C \rho_d, \quad (6)$$

где K_C – проводимость отверстий "сот".

Следовательно перепад давления

$$\rho_d = (F_d / K_C) / (dz/dt). \quad (7)$$

Сила от действия демпфера

$$P_d = (F_d^2 / K_C) / (dz/dt). \quad (8)$$

Заполнение кассеты осуществляется при включении вибратора. В зависимости от интенсивности воздействия колебаний система может рассматриваться как колебательное звено второго порядка.

Математическая модель описывается системой дифференциальных уравнений

$$\begin{cases} (m_0 + \rho \mathcal{D})\ddot{x} + b_2 \dot{x} + c_2 x = m_g R \omega^2 \sin \omega t \sin \gamma; \\ (m_0 + \rho \mathcal{D})\ddot{y} + c_1 y - (m_0 + \rho \mathcal{D}) = m_g R \omega^2 \sin \omega t \cos \gamma, \end{cases} \quad (9)$$

где m_0 – масса колебательной системы; ρ – плотность арболитовой смеси; x, \dot{x}, \ddot{x} – перемещение, скорость и ускорение системы соответственно; b_2 – вязкость арболитовой смеси; c_2 – жесткость бункера; c_1 – жесткость амортизатора; g – ускорение свободного падения; m_g – масса дебаланса вибратора; R – радиус эксцентриситета; ω – частота вращения дебаланса; t – время работы; γ – угол наклона стенки бункера.

Установившиеся вынужденные колебания системы описываются частными интегралами исходных уравнений:

$$\begin{cases} x = x_a \cos(\omega t - \varphi_x) \\ y = y_a \sin(\omega t - \varphi_x) \end{cases} \quad (10)$$

где x_a и y_a – амплитудные значения перемещений; φ – угол сдвига фаз между вынужденными колебаниями и вынуждающей силой.

Продифференцировав дважды уравнения вынужденных колебаний по времени, и подставив полученные значения $\ddot{x}, \ddot{y}, \dot{x}, \dot{y}, x, y$ получим:

$$x_a = \frac{m_g \omega^2 R / \cos \gamma}{\sqrt{[c_2 - (m_0 + \rho v) \omega^2]^2 - (b_2 \omega)^2}}; \quad (11)$$

$$y_a = \frac{m_g \omega^2 R / \cos(90 - \gamma)}{\sqrt{[c_1 - (m_0 + \rho v) \omega^2]^2}}.$$

Скорость колебаний:

$$\dot{x} = x_a \cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2} + \varphi\right) \quad (12)$$

$$\dot{y} = y_a \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2} + \varphi\right)$$

Ускорение системы:

$$\ddot{x} = x_a \omega^2 \cos(\omega t + \pi + \varphi)$$

$$\ddot{y} = y_a \omega^2 \sin(\omega t + \pi + \varphi) \quad (13)$$

Математическая модель описывает процесс пока смесь не достигнет максимальной плотности

$$0 < \rho < \rho_{\max}; \quad (14)$$

Из этого можно сделать следующие выводы. Полученные зависимости влияния на усилие гидроцилиндра вязкости и кажущегося коэффициента трения шихты строительной смеси под воздействием вынуждающей силы вибровозбудителя. Зависимости влияния на колебательный процесс виброформовочной машины жесткости упругих связей конструкции, вязкости и упругости шихты строительной смеси а также времени вибрирования. Реализация аналитических зависимостей колебательного процесса виброформовочного оборудования показала, что виброускорения и амплитуда колебаний бункера уменьшаются с увеличением плотности шихты и жесткости амортизатора при времени вибрирования до 200с. С увеличением времени вибрирования с 200 до 300 с амплитуда колебаний снижается на 10%, ускорения увеличиваются не превышая нормативных значений.

Динамическое состояние виброформовочного оборудования

характеризуется направленностью вибрационного воздействия вынуждающего усилия вибратора относительно вертикальной и горизонтальной плоскостей в зависимости от угла наклона стенок бункера. Для получения коэффициента передачи нагрузки на подъемный механизм меньше единицы требуется выполнение угла наклона стенок бункера в пределах 25 –35 град.

Литература:

1 *Емельянов Р.Т.* Исследование процесса вибрационного формирования инженерного обустройства автомобильных дорог. Р.Т. Емельянов, А. П. Прокопьев, Е. С. Турышева, П. А. Постоев. Строительные и дорожные машины, 2010, № 10. С. 44-48

2 *Емельянов Р.Т.* Формование строительных изделий конвейерной системой VIII Всероссийская научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященная 155-летию со дня рождения К. Э. Циолковского 2012

3 *Перегудов В. В.* Теплотехника и теплотехническое оборудование : Учеб. для техникумов. В.В. Перегудов ; под ред. Н. Ф. Еремина. М. : Стройиздат, 1983.

4 *Медведько С. В.* Методические указания к курсовому проекту по дисциплине «Проектирование предприятий по производству строительных материалов, изделий и конструкций», ВолгГАСА. — Волгоград, 2000.

5 *Михайлова К. В.* Справочник «Производство железобетонных изделий», — 2 изд., перераб. и доп. — М.: Стройиздат, 1989.

Статья опубликована в журнале «Техника. Технологии. Инженерия» №1 (3), январь 2017 г.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВИБРОФОРМОВАНИЯ ВЕРТИКАЛЬНОГО ТИПА

Чашин Д.В.

научный руководитель канд. техн. наук Турышева Е.С.
Сибирский федеральный университет

При вертикальном способе формования строительных изделий применяется установка в виде конвейерной схемы с движением кассеты через бункер со смесью сверху вниз. Устройство машины для вертикального формования строительных смесей приведено на рисунке.

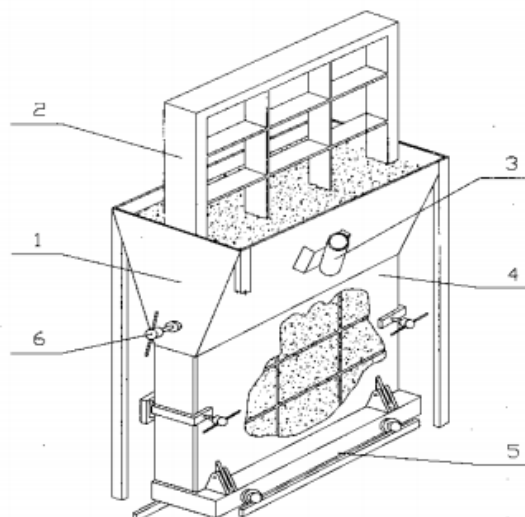


Рис.1 - Установка вертикального формования
1-рама; 2 – кассета; 3 – вибратор; 4 – боковина; 5 – основание; 6 – упоры

Механизм подъема виброформовочной установки осуществляет перемещение рабочей кассеты. При этом "соты" рабочей кассеты под воздействием сил вибрации, создающихся вибратором, заполняется строительной смесью. Вибратор жестко закреплён на боковой поверхности бункера установки. Механизм подъема 5 установлен в нижней части рамы 1 формовочной установки. Сверху через амортизирующие элементы 1 на раме закреплён бункер для строительной смеси. Вращающиеся неуравновешенные массы вызывают как местную, так и общую вибрацию оборудования. В таком случае имеем динамическую систему с упругими связями [1].

При движении через строительную смесь кассета преодолевает сопротивление смеси, которое уменьшается под воздействием вибрационной среды, создаваемой вибратором установки. С помощью вибрации осуществляется передвижение строительной смеси в направлении движения кассеты, а также заполнение "сот" кассеты строительной смесью [2].

Дифференциальное уравнение колебаний массы m_1 будет иметь вид:

$$m_1 \ddot{z}_1 + \beta_1 \dot{z}_1 + c_1 z_1 = P(t);$$

Полагая, что $P = P_0 \sin \omega t$, уравнение примет вид:

$$\ddot{z}_1 + 2g \dot{z}_1 + v^2 z_1 = P_0 / m_1 \sin \omega t;$$

Решение этого неоднородного дифференциального уравнения будет:

$$z_1 = A \cos \omega t + B \sin \omega t;$$

После преобразования получим:

$$\begin{cases} (v^2 - \omega^2)A + 2g\omega B = 0 \\ -2g\omega A + (v^2 - \omega^2)B = \frac{P_0}{m_1}; \end{cases}$$

где
$$v = \sqrt{\frac{c_1}{m_1}}; \quad 2g = \frac{\beta_1}{m_1}.$$

Из последней системы уравнений находим неизвестные амплитуды А и В:

$$\begin{cases} A = -\frac{P_0}{m_1} \cdot \frac{2g\omega}{(v^2 - \omega^2)^2 + 4g^2\omega^2}; \\ B = \frac{P_0}{m_1} \cdot \frac{v^2 - \omega^2}{(v^2 - \omega^2)^2 + 4g^2\omega^2}; \end{cases}$$

Динамическое состояние виброформовочного оборудования характеризуется степенью влияния колебательного процесса в зависимости от жесткости виброгасителей, степени демпфирования и реологии шихты строительного раствора.

При варьировании жесткости амортизатора от $20 \cdot 10^6$ Н/м до $70 \cdot 10^6$ Н/м. При этом амплитуда колебаний изменялась в вертикальной плоскости от 0,056 до 0,4 мм; в горизонтальной плоскости - от 0,02 до 0,16 мм. Ускорения изменялись соответственно от 0,5 до 2,7 м/с², а также от 0,3 до 1,8 м/с².

Модель процесса вертикального виброформования, описанная в среде Simulink приведена на рис.2.

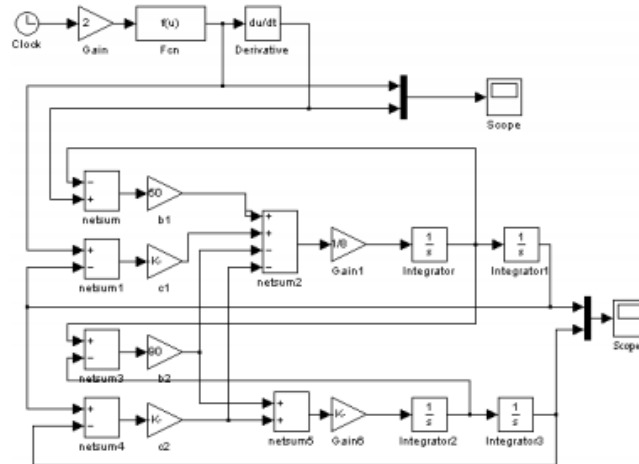


Рис.2 – Модель, описанная в среде SIMULINK

Список литературы

1. Емельянов Р.Т. Исследование процесса вибрационного формирования инженерного обустройства автомобильных дорог / Р.Т. Емельянов, А. П. Прокопьев, Е. С. Турышева, П. А. Постоев. Строительные и дорожные машины. – 2010. – № 10. С. 44-48
2. Емельянов Р.Т. Формование строительных изделий конвейерной системой VIII Всероссийская научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященная 155-летию со дня рождения К. Э. Циолковского 2012 г

Статья опубликована в сборнике материалов Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Перспектив Свободный-2016», посвященной Году образования в Содружестве Независимых Государств», Красноярск, 2016 г.