



**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ  
КЫРГЫЗСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
СТРОИТЕЛЬСТВА, ТРАНСПОРТА И АРХИТЕКТУРЫ  
им. Н.ИСАНОВА**

На правах рукописи  
УДК678.057.+691.421.2(043.3)

**АРЫКБАЕВ КАНАТБЕК БАЙЫШБЕКОВИЧ**

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭКСТРУЗИВНОГО ПРЕССОВОГО  
ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНОГО  
КИРПИЧА**

05.05.04 – дорожные, строительные и подъемно-транспортные машины

Диссертация на соискание  
ученой степени кандидата технических наук

**Научный руководитель:**  
доктор технических наук, профессор  
Джылкичиев Аскарбек Исаевич

**БИШКЕК - 2020**



## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ .....</b>	<b>4</b>
<b>ГЛАВА 1. ОБЗОР СПОСОБОВ ФОРМОВАНИЯ СТРОИТЕЛЬНОГО КИРПИЧА И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ИХ ПРОИЗВОДСТВА .....</b>	<b>9</b>
1.1. Общие сведения о полусухом формовании строительных изделий и способы его реализации .....	9
1.2. Обзор оборудования для производства строительных изделий полусухим способом прессования.....	32
1.3. Обзор и анализ теоретических положений, описывающих процессы, протекающие при полусухом формовании изделий .....	46
1.4. Цель и задачи исследований .....	57
1.5. Заключение по главе 1.....	58
<b>ГЛАВА 2. ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ, ПРОТЕКАЮЩИХ ПРИ ЭКСТРУЗИОННОМ ФОРМОВАНИИ СТРОИТЕЛЬНОГО КИРПИЧА .....</b>	<b>59</b>
2.1. Экструзивное формование изделий из полусухой смеси.....	59
2.2. Математическое моделирование процесса экструзивного формования изделия с несквозным отверстием.....	74
2.3. Математическое моделирование процесса экструзивного формования изделия со сквозными пустотными отверстиями .....	81
2.4. Исследование процесса формирования и стабилизации давления прессования при экструзивном формовании изделий.....	88
2.5. Экспериментальные исследования процесса экструзивного формования строительного кирпича .....	101
2.6. Заключение по главе 2.....	112
<b>ГЛАВА 3. ЭКСТРУЗИВНОЕ ПРЕССОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНОГО КИРПИЧА ПОЛУСУХИМ СПОСОБОМ ФОРМОВАНИЯ .....</b>	<b>114</b>



3.1. Устройство и принцип действия экструзивного прессового оборудования для производства строительного кирпича полусухим способом формования .....	114
3.2. Математическое моделирование и исследование экструзивного прессового оборудования.....	118
3.3. Исследование математической модели рабочего процесса экструзивного прессового гидравлического оборудования.....	131
3.4. Математическая модель процесса прессования и выпрессовки смеси	135
3.5. Заключение по главе 3.....	141
<b>ГЛАВА 4. ИНЖЕНЕРНАЯ МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ВЕРТИКАЛЬНОГО ЭКСТРУЗИВНОГО ПРЕССОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНОГО КИРПИЧА .....</b>	<b>142</b>
4.1. Инженерная методика расчета основных параметров вертикального экструзивного прессового оборудования для производства строительного кирпича .....	142
4.2. Расчет ожидаемой экономической эффективности от внедрения вертикально прессующего гидравлического экструзивного оборудования .....	148
4.3. Заключение по главе 4.....	152
<b>ВЫВОДЫ .....</b>	<b>153</b>
<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....</b>	<b>155</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЯ .....</b>	<b>164</b>



## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы диссертации.** Керамический кирпич является классическим строительным материалом, известным человечеству с третьего тысячелетия до нашей эры. Обладая высокой долговечностью, прочностью и морозостойкостью, хорошей теплоизоляцией и прекрасным внешним видом керамический кирпич является самым распространенным в настоящее время стеновым материалом.

С оживлением в республике строительной отрасли, существенно возросла потребность в качественном стеновом материале. Эта проблема особенно остро проявляется в отдаленных регионах республики, так как основные строительные мощности и базы стройиндустрии сосредоточены в областных и городских промышленных центрах. Это приводит к необходимости транспортировки строительного кирпича на значительные расстояния, при этом расходы, связанные с перевозкой этих материалов от производителя до мест потребления становятся соизмеримой, а иногда даже больше стоимости самих материалов.

В последние годы в регионах ведутся попытки налаживания производства керамического кирпича пластическим способом формования. Однако эти попытки не дают ожидаемого результата из-за низкой пластичности глин местных карьеров. Характерными дефектами при производстве кирпича из низко пластичных глин является наличие надрывов на углах и поверхностях, трещины, которые появляются уже до обжига в процессе сушки отформованного кирпича. В результате такой кирпич получается не кондиционным и обладает низкой прочностью.

Другим способом производства строительного кирпича, исключая зависимость качества производимого кирпича от пластических свойств используемой глины, является полусухой способ формования строительного кирпича. Отличительной особенностью полусухого способа формования



кирпича по сравнению с традиционным пластическим способом формования является необходимость приложения значительного усилия на формуемую смесь, а также полное совмещение процессов уплотнения и придания кирпичу окончательной формы. Эти особенности создают ряд существенных преимуществ при складировании свежотформованного кирпича, сушке и обжиге. Кроме того, относительно высокая первоначальная прочность отформованных кирпича облегчает механизацию и автоматизацию последующих этапов технологического процесса.

Основной причиной, сдерживающего широкое применение полусухого способа производства строительного кирпича является неэффективность существующих прессовых оборудований для полусухого способа формования строительного кирпича. В нашей республике по данной проблеме занимались ученые Асанов А.А. (с 1996-2002 гг.), Джылкичиев А.И. (с 1996-2020 гг.).

В связи с этим, проблема повышения качества выпускаемого строительного кирпича из низко пластичных глин путем создания эффективного экструзивного прессового оборудования для полусухого способа формования строительного кирпича **является актуальной проблемой.**

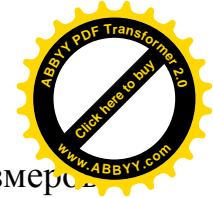
**Связь темы диссертации с крупными научными программами.**

Данная работа является инициативной работой.

**Целью диссертационной работы** является повышение эффективности экструзивного прессового оборудования для полусухого формования строительного кирпича путем научно-обоснованного выбора его параметров.

Для достижения поставленной цели в работе решались следующие задачи исследования:

- анализ условий стабилизации давления прессования при экструзивном прессовании строительных изделий из полусухой смеси;
- математическое моделирование процесса экструзивного формования строительных изделий.



- исследование влияния параметров смеси и геометрических размеров формуемого изделия на процесс формирования и на установившееся значение давления прессования при экструзивном прессовании;

- разработка, и обоснование параметров экструзивного прессового оборудования для производства строительных изделий из полусухой смеси;

- разработка инженерной методики расчета основных параметров экструзивного прессового оборудования для производства строительного кирпича из полусухой смеси.

**Научная новизна работы** заключается в следующем:

- в разработке экструзивного способа формирования строительного кирпича из полусухой смеси;

- в разработанной математической модели, описывающий процесс стабилизации давления прессования при экструзивном формировании строительного кирпича из полусухой смеси;

- в полученных зависимостях, описывающих взаимосвязь между установившимся значением удельного давления прессования, параметрами смеси и габаритными размерами формуемого кирпича;

- в полученных аналитических зависимостях, описывающих распределение давления прессования на давление, затрачиваемое на уплотнение формуемой смеси и на давление, затрачиваемое на преодоление силы трения между стенками матрицы и формуемой смесью;

- в разработанной инженерной методике расчета и проектирования основных параметров экструзивного прессового оборудования для формирования строительного кирпича.

**Практическая значимость полученных результатов:**

- создание экспериментальных моделирующих стендов;

- создание принципиально нового перспективного прессового оборудования для производства строительного кирпича экструзивным способом формирования из полусухой смеси;



– разработка инженерной методики расчета параметров экструзивного прессового оборудования для производства строительного кирпича из полусухой смеси.

### **Экономическая значимость полученных результатов.**

Экономический эффект от внедрения одного вертикального экструзивного прессового оборудования в производство составляет 637,373 тыс. сомов в год.

### **Основные положения диссертации, выносимые на защиту:**

– математическая модель, описывающая процесс формирования и стабилизации давления прессования при экструзивном формировании строительного кирпича из полусухой смеси.

– экструзивный способ формирования строительного кирпича из полусухой смеси;

– аналитические зависимости, описывающие распределения давления прессования на давление, затрачиваемое на процесс уплотнение формуемой смеси и на давление, затрачиваемое на преодоление силы трения между стенками матрицы и формуемой смесью;

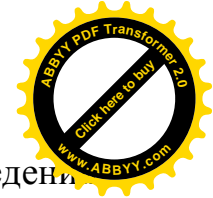
– зависимости, описывающие взаимосвязь между установившимся значением удельного давления прессования, параметрами смеси и габаритными размерами формуемого кирпича;

– методика расчета основных параметров прессового оборудования по экструзивному формированию строительного кирпича из полусухой смеси.

– принципиально новое экструзивное прессовое оборудования для производства строительных изделий полусухим способом формирования;

– результаты экспериментальных исследований в лабораторных и производственных условиях.

**Личный вклад соискателя.** На основе проведенного обзора и анализа литературных источников автором сформулированы цели и задачи исследований, определены пути реализации поставленных задач. Автор участвовал в планировании, проведении теоретических исследований,



разработке нового экструзивного прессового оборудования и проведении лабораторных и производственных испытаний.

**Апробация результатов диссертации.** Основные положения и отдельные разделы работы докладывались и обсуждались на республиканских и международных научно-технических конференциях: Международная научно-практическая конференция «Инновация в области строительства и образования: становление, проблемы, перспективы» (г.Бишкек, 2012 г.); Международная научно-практическая конференция «Наука и образования для устойчивого развития» (г.Каракол, 2013 г.); Международная научно-практическая конференция «Насирдин Исанов – видный государственный деятель Кыргызской Республики» (г.Бишкек, 2013 г.); XXX Международная научно-практическая конференция «НАУКА ВЧЕРА, СЕГОДНЯ, ЗАВТРА» (г.Новосибирск, 2016 г.); Международная научно-практическая конференция «ИНТЕРНАУКА. НАУЧНАЯ ДИСКУССИЯ: Вопросы технических наук» (г.Москва, 2016 г.); Международная научно-практическая конференция «Фундаментальные и прикладные исследования: опыт, проблемы и перспективы» (г.Санкт-Петербург, 2017 г).

**Полнота отражения результатов диссертации в публикациях.** Материалы диссертации опубликованы в 15 научных публикациях, в том числе в зарубежных изданиях РИНЦ - 6, получены 3 патента КР.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов, списка использованной литературы и приложений. Текстовая часть изложена на 168 страницах машинописного текста, содержит 40 рисунков, 3 таблиц и список литературы из 106 наименований.





## ГЛАВА 1. ОБЗОР СПОСОБОВ ФОРМОВАНИЯ СТРОИТЕЛЬНОГО КИРПИЧА И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ИХ ПРОИЗВОДСТВА

### 1.1. Общие сведения о полусухом формовании строительных изделий и способы его реализации

Под полусухим способом формования строительных изделий понимается процесс уплотнения смеси с влажностью 4-12% в замкнутом объеме путем непосредственного сжатия или сжатия через промежуточную среду. Наиболее распространенными изделиями, производимыми полусухим способом формования являются огнеупоры, строительные кирпичи и блоки, плитки, электротехнические изделия и многие другие изделия. Процесс полусухого формования изделий от пластического отличается не только показателем влажности формуемой смеси, но и особенностями технологии процесса формования. Например, если при пластическом формовании смесь дозируется с некоторым избытком смеси, при полусухом формовании из-за значительных сил внутреннего трения смеси выдавливание излишней массы смеси через зазоры между пуансоном и стенками матрицы не представляется возможным. В связи с этим при полусухом формовании необходимо точная дозировка формуемой смеси.

При полусухом формовании изделия получают строгой формы и точных геометрических размеров, в связи с этим изделия, отформованные полусухим способом формования, могут быть использованы как в качестве стенового материала, так и в качестве лицевого изделия. Основным преимуществом полусухого способа формования изделий, по сравнению с пластическим способом, является исключение зависимости качества отформованного изделия от пластических свойств формуемой смеси. Незначительная влажность формуемой смеси позволяет совмещать процесс сушки и обжиг отформованных изделий, тем самым значительно



сокращается расход энергоресурсов. При этом относительно высокая механическая прочность свежеотформованного изделия создает благоприятные условия для механизации межоперационной транспортировки.

При полусухом способе формования процесс уплотнения смеси в замкнутом объеме сопровождается сложными явлениями молекулярного и механического характера. В начале процесса деформации смеси более крупные частицы, перемещаясь, сближаются между собой, при этом пространство между крупными частицами заполняют более мелкие частицы смеси, а воздух, находящийся в формуемой смеси вытесняется через зазоры между частицами из матрицы. Дальнейшая деформация смеси приводит к пластической, хрупкой и упругой деформации, сопровождающиеся с разрушением отдельных контактных поверхностей частиц. На этой стадии прессования смеси воздухопроводящие каналы запираются и запрессованный воздух сжимается в порах формуемого изделия. При этом запрессованный воздух в порах частично растворяется в жидкой фазе смеси и частично остается в сжатом виде в порах отформованного изделия. Запрессованный воздух отрицательно влияет на качество изделия, так как отформованное изделие подвергается дополнительному остаточному внутреннему напряжению. Для устранения или снижения этого явления существуют такие методы, как снижение скорости прессования, вакуумирование формуемой смеси и использование многоступенчатого прессования.

В качестве технологической связки при полусухом формовании изделий обычно используется вода. В отдельных случаях в зависимости от технологических требований и характеристик глиняной смеси при формовании специфических изделий в качестве пластифицирующих и увлажняющих добавок могут быть использованы специальные эмульсии и растворы. При увлажнении смеси пластифицирующими добавками, последние обволакивают твердые частицы смеси, в результате снижаются силы трения между твердыми частицами и улучшается прессовываемость

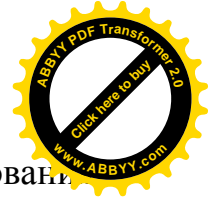


смеси, а это в свою очередь способствует повышению прочности свежеотформованного изделия.

При полусухом формовании изделий, как недостаток влаги, так и его излишек отрицательно влияет на качество отформованного изделия. При недостаточной влажности формуемой смеси из-за повышенной силы трения между твердыми частицами ухудшается пропрессовываемость, в результате пористость отформованного изделия из смеси с недостаточной влажностью будет выше, а прочность – ниже. В случае излишней влажности формуемой смеси пленочная жидкость вытесняется из мест контакта частиц в поры, образованные этими же твердыми частицами. Закупоренная в порах, несжимаемая жидкость препятствует сближению твердых частиц в процессе уплотнения смеси, что в свою очередь способствует увеличению доли упругой деформации смеси. Последнее, при снятии усилия прессования оказывает расклинивающее действие, в результате которого образуются перепрессовочные трещины и расслоения изделия. В связи с этим для каждого удельного давления прессования существует оптимальное значение влажности смеси, при которой достигается максимальная прочность свежеотформованного изделия.

При прочих равных условиях на степень уплотнения формуемого изделия существенное влияние оказывает и гранулометрический состав смеси. Для полусухого формования изделия требования, к гранулометрическому составу смеси достаточно многосторонне и определяются, в основном, требованиями, предъявляемыми к изделию и областью использования этого изделия. Согласно исследованиям [1, 2] при полусухом формовании изделий, при прочих равных условиях, плотность свежеотформованного изделия из монофракционной смеси получается выше, чем из полифракционной смеси.

Граница применимости полусухого способа формования в основном определяется формой изделия. Полусухой способ формования изделий, в большинстве случаев, используется для изготовления простейших



призматических по форме изделий. Поскольку для полусухого формования изделия практически не требуется пластичность формуемой смеси, этот способ в первую очередь необходим для формования огнеупорных изделий, а также для изготовления керамических строительных кирпичей и плиток.

Процесс прессования смеси в замкнутом объеме всегда сопровождается перемещением одного или нескольких граничащих поверхностей относительно других. В связи этим существуют три основных схем, реализации процесса полусухого способа формования изделий:

- полусухое формование изделия с односторонним прессованием;
- полусухое формование изделия с двусторонним прессованием;
- полусухое формование изделия с двусторонним последовательным прилагаемым давлением прессования.

Благодаря простоте реализации, при формовании изделий призматической формы и небольших размеров, наибольшее применение получило одностороннее прессование. Одностороннее прессование характеризуется тем, что прессующая поверхность пуансона передвигается к противоположной от нее неподвижной поверхности, а усилие прессования прикладывается, в основном, сверху или снизу [3].

Односторонний способ полусухого прессования изделий включает в себя следующие разновидности:

- одностороннее прессование с неподвижной матрицей;
- одностороннее прессование с подвижной матрицей.
- одностороннее прессование с подрессоренной матрицей;
- одностороннее прессование с плавающей матрицей;

Схема одностороннего прессования с неподвижной матрицей представлена на рис. 1.1. При одностороннем прессовании с неподвижной матрицей усилие прессования через подвижный пуансон 1 воздействует на формуемую смесь в матрице 2, а нижний пуансон 3 и матрица 2 во время прессования смеси остаются неподвижными.

В процессе одностороннего прессования с неподвижной матрицей (рис. 1.1.) частицы формуемой смеси, расположенные вдоль оси прессования, в зависимости от расстояния до подвижного пуансона совершают в процессе уплотнения разный путь. Частицы формуемой смеси, расположенные у подвижного пуансона, проходят больший путь, а по мере удаления частиц от подвижного пуансона их путь уменьшается. Для частиц смеси, прилегающих к неподвижному пуансону, этот путь равен нулю. По мере перемещения подвижного пуансона увеличивается плотность слоев, прилегающих к подвижному пуансону, соответственно увеличиваются потери на внешнее трение за счет эффекта бокового распора смеси. При этом усилие, воспринимаемое неподвижным пуансоном, равно разности усилия, приложенного к подвижному пуансону и общей величины силы внешнего трения.

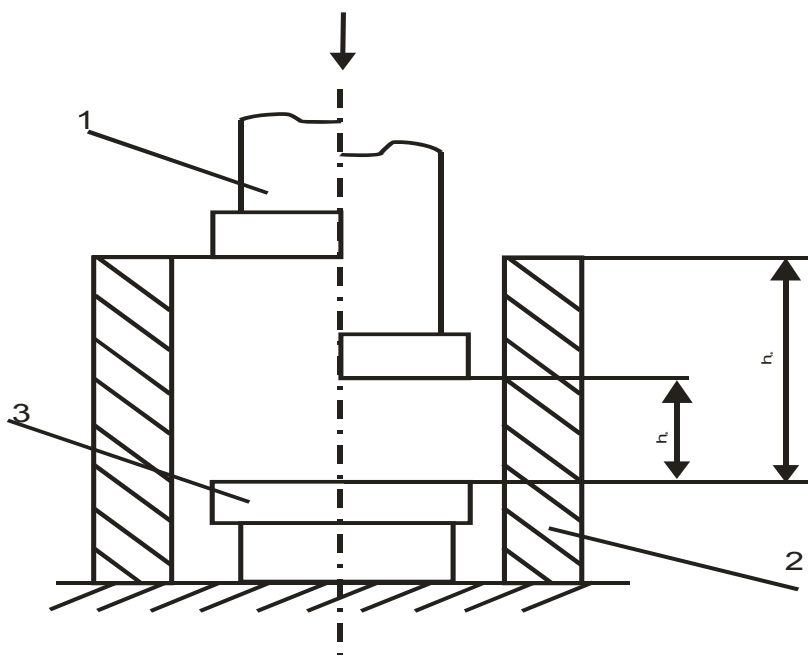


Рис. 1.1. Одностороннее прессование с неподвижной матрицей

Перепад плотности по высоте формуемого изделия является основным недостатком одностороннего прессования с неподвижной матрицей. Этот перепад плотности обусловлен разностью давлений на подвижном и неподвижном пуансонах в процессе прессования смеси. Поэтому этот способ формирования, как правило, используется для формирования изделий небольшой

высоты, таких как плитки различного назначения, брикеты и тому подобным изделиям.

При одностороннем прессовании снижение перепада плотности по высоте формуемого изделия можно достичь путем использования подрессоренной и с плавающей матрицы, схемы которых представлены соответственно на рис.1.2 и рис.1.3.

Особенность одностороннего прессования изделия с подрессоренной матрицей заключается в том, что с момента соприкосновения подвижного пуансона 1 со смесью в матрице 2 до определенного предварительного уплотнения смеси имеет место эффект одностороннего прессования с неподвижной матрицей. Далее, по мере уплотнения смеси в матрице 2 и повышения значения силы трения формуемой смеси о стенки матрицы 2, наступает уравнивание силы сопротивления упругого элемента 4 и силы трения смеси об стенки матрицы 2. С момента уравнивания этих сил неподвижный пуансон 3 начинает перемещаться относительно матрицы 2 вверх и уплотняет формуемую смесь в нижних слоях изделия.

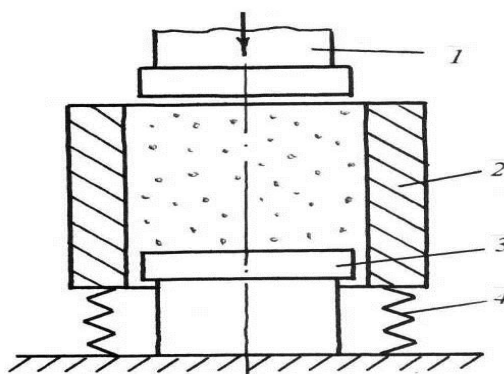


Рис. 1.2. Одностороннее прессование с подрессоренной матрицей

Использование подрессоренной матрицы при одностороннем прессовании позволяет процесс формирования изделия приблизить к двустороннему прессованию. В то же время с увеличением перемещения матрицы относительно неподвижного пуансона возрастает и сопротивление упругого элемента. В результате чего перепад удельных давлений со стороны

подвижного и неподвижного пуансонов повышается и соответственно перепад напряжений по высоте формуемого изделия тоже увеличивается. Недостаток присущий одностороннему прессованию с подрессоренной матрицей, частично устраняется при использовании плавающей матрицы, схема которой представлена на рис. 1.3.

При такой схеме матрица 1 вместо упругого элемента поддерживается при помощи гидроцилиндров 2, рабочие полости которых сообщены с рабочей полостью нагнетающего гидроцилиндра 3. Значение давления в системе создается и регулируется путем регулирования величины грузов 4 на штоке гидроцилиндра 3.

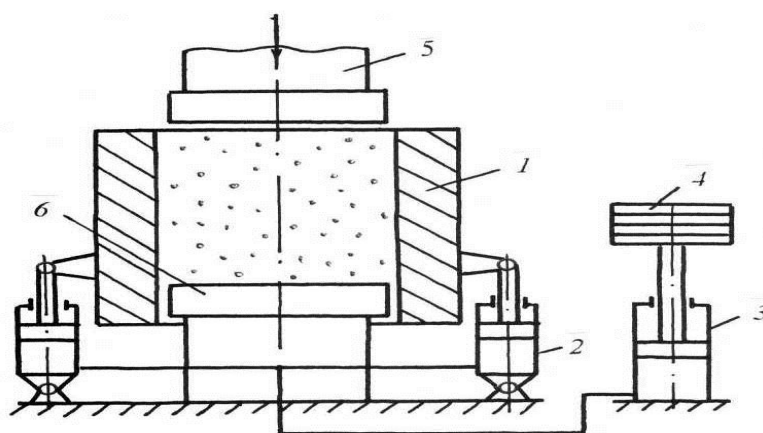


Рис. 1.3. Одностороннее прессование с плавающей матрицей

В отличие от подрессоренной матрицы, особенность поддержки матрицы 1 при помощи гидравлики, заключается в том, что независимо от относительного перемещения матрицы 1 и неподвижного пуансона 6 поддерживающее матрицу усилие остается постоянным. Это в свою очередь, снижает перепад удельных давлений на подвижном 5 и неподвижном 6 пуансонах. Аналогичного эффекта можно достичь при использовании вместо нагнетающего гидроцилиндра гидравлического питания с предохранительным клапаном. В то же время при этом несколько конструкция усложняется за счет необходимости использования насоса и распределительной аппаратуры для возврата матрицы в исходное положение.





Усилие, при котором начинается относительное движение матрицы неподвижного пуансона определяется значением давления создаваемого нагнетающим гидроцилиндром 3 (рис. 1.3). При этом благодаря постоянству усилия, поддерживающего матрицу, эффективность одностороннего прессования с плавающей матрицей выше по сравнению с подрессоренной матрицей.

При одностороннем прессовании с подвижной матрицей по вышеизложенным схемам наибольший эффект по равномерности формуемого изделия достигается при одновременном и равномерном перемещении верхнего и нижнего пуансонов.

Использование перемещение верхнего или нижнего пуансона, первым при одностороннем прессовании с подвижной матрицей, не оказывает заметного влияния на качество формуемого изделия. Как показывают исследования [1,3] одностороннее прессование обычно используется без ущерба на равномерность формуемого изделия для изделий, у которых отношение площади прессования к площади боковой поверхности отформованного изделия равно или меньше единицы.

По сравнению с односторонним прессованием двустороннее прессование является более предпочтительным при полусухом формировании строительных изделий. При двустороннем прессовании изделий усилие, развиваемое прессующим механизмом, действует равномерно на формуемую смесь с двух сторон, тем самым способствует достижению более высокой плотности формуемого изделия.

При двустороннем прессовании более предпочтительным является прессование с синхронным перемещением прессующих пуансонов. В тоже время сложность технической реализации такого способа двустороннего прессования, а именно синхронное перемещение прессующих пуансонов несколько ограничивает использование такого способа прессования. В связи с этим более широкое применение получил метод последовательного перемещения прессующих пуансонов. Особенность такого способа



прессования заключается в том, что сначала перемещается тот прессующий пуансон, в котором меньше сопротивление, а затем, когда выравнивается сопротивление смеси во втором пуансоне, начинается его перемещение. На рис. 1.4. показаны схемы двустороннего прессования с синхронным (рис. 1.4, а) и последовательным (рис. 1.4, б) перемещениями прессующих пуансонов. Как видно из представленных схем двустороннего прессования и кривых прессования, при двустороннем прессовании с последовательным перемещением прессующих пуансонов характер изменения кривой прессования верхнего пуансона существенно отличается от кривой прессования нижнего пуансона.

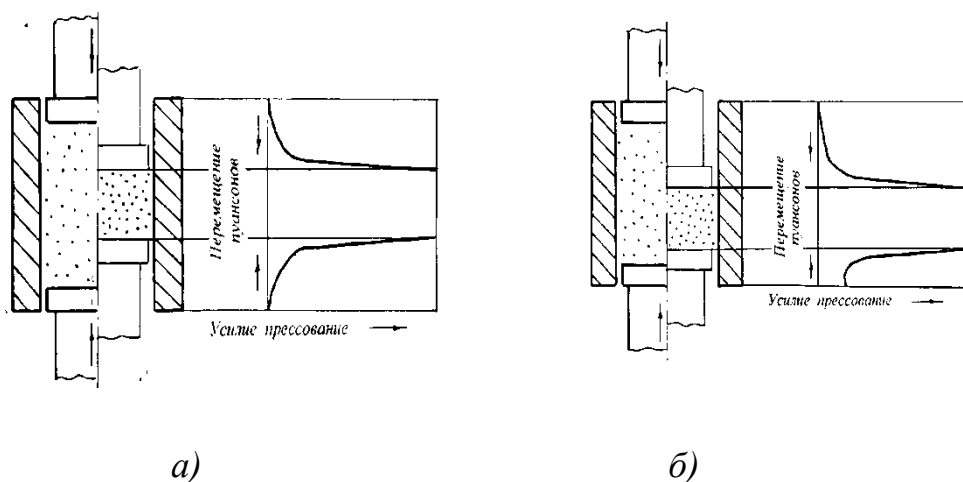


Рис. 1.4. Схемы двустороннего прессования с синхронным и последовательным перемещениями прессующих пуансонов и характер изменения кривых прессования

Несмотря на эффективность двустороннего прессования с синхронным перемещением прессующих пуансонов, сложность технической реализации такого способа прессования ограничивает его применение. Сложность технической реализации заключается в том, что синхронное перемещение прессующих пуансонов возможно только при наличии жесткой кинематической связи приводов прессующих пуансонов.

Из известных схем двустороннего прессования благодаря простоте конструкции наиболее широкое применение получил двустороннее



прессование с последовательным перемещением прессующих пуансонов. Двустороннее прессование с последовательным перемещением прессующих пуансонов можно рассматривать как одностороннее прессование в два этапа, при этом нейтральная плоскость смещается с середины высоты формуемого в сторону прессующего пуансона, перемещающимся последним.

Технически двустороннее прессование с последовательным перемещением прессующих пуансонов можно достичь одним приводом. Для этого, как представлено на рис. 1.5, прессующие пуансоны 1 и 2 необходимо через механизм прессования 3 соединить между собой жесткой кинематической связью 4. При этом за счет силы тяжести пуансонов 1 и 2, тяг 4 верхний прессующий пуансон 1 перемещаясь первым, начинает уплотнение смеси в матрице 5, а затем при уравнивании сопротивлений, действующих на прессующие пуансоны, начинается движение вверх нижнего пуансона 2.

Использование двустороннего прессования с синхронным или последовательным перемещением прессующих пуансонов, по сравнению с односторонним прессованием, не исключает перепад напряжений и не обеспечивает одинаковую плотность формуемого изделия по всему объему. Поэтому использование того или иного способа прессования изделия зависит от геометрических размеров формуемого изделия, его формы и технологических требований, предъявляемых к их формованию.

Несмотря на то, что используется одностороннее или двустороннее прессование одним из основных технологических требований, способствующих повышению качества формуемого изделия, является многоступенчатость процесса прессования изделия. Запрессованный воздух всегда отрицательно влияет на качество отформованного изделия, так как при этом увеличивается упругое расширение изделия, а при высоких удельных давлениях прессования запresseванный воздух вызывает расслоение изделия. Упругое расширение отформованного изделия после снятия прессования складывается, в основном, из упругих деформаций



минеральных частиц, жидкой и газообразной фазы. При этом так как модуль сжатия у жидкой фазы очень незначителен, соответственно при окончании процесса прессования и снятии давления прессования жидкая фаза формуемой смеси дает весьма незначительный эффект расширения. Поэтому при анализе причин возникновения трещин и расслоения отформованного изделия упругим расширением жидкой фазы смеси можно пренебречь. Следовательно, основной причиной образования трещин и расслоения отформованного изделия является наличие запрессованного воздуха, и упругое расширение минеральных частиц смеси, а также упругая деформация стенок матрицы.

Для исключения образования трещин в отформованном изделии после снятия усилия прессования часто используют многоступенчатое прессование. В зависимости от характеристик формуемой смеси и требований к готовому изделию и его назначения количество ступеней прессования может достигать до трех-четырех. При этом удельное давление прессования должно повышаться плавно от ступени к ступени. По результатам исследований [4] для четырехступенчатого прессования приводится следующее процентное соотношение давлений многоступенчатого прессования: первая ступень 20 - 30%; вторая ступень 30-35%; третья ступень 70-80%; четвертая ступень 100% от конечного значения удельного давления прессования. В то же время, сложность технической реализации и снижения производительности прессового оборудования ограничивает применение трех и более ступеней прессования, поэтому в существующих прессовых оборудовании получили применение в основном не более двух ступеней прессования.

Однородная плотность по всему объему формуемого изделия достигается только при всестороннем объемном прессовании. В то же время объемное прессование осуществимо только для жидкой или текучей массы, находящейся под давлением. Реализация объемного прессования при традиционном полусухом формовании изделий связано с определенными



трудностями, связанными из-за появляющихся в формуемой смеси напряжений трения.

Одним из способов реализации объемного прессования при полусухом формовании изделий является изостатическое прессование. Принцип изостатического прессования заключается в том, что усилие прессования преобразовывается в давление жидкости, газа или эластичного материала, которое воздействуя на формуемую смесь, уплотняет равномерно его со всех сторон.

Способ изостатического прессования нашел широкое промышленное применение при формовании крупногабаритных и фасонных изделий, например при производстве керамических труб, строительных блоков и других изделий сложной и неблагоприятной к формованию, конфигурации. Основным недостатком изостатического прессования керамических изделий является невозможность получения точных наружных геометрических размеров формуемого изделия. Это обусловлено тем, что давление прессования на формуемую смесь воздействует снаружи вовнутрь и, в результате чего невозможно достичь точных наружных геометрических размеров формуемого изделия. При одном и том же давлении прессования деформация формуемой смеси, при незначительном изменении влажности смеси или гранулометрического состава, изменяется существенно. Поэтому в процессе производства абсолютно стабилизировать указанные параметры практически не представляется возможным и рассмотренные методы изостатического прессования целесообразно применять для формования изделий, к наружным размерам которых не предъявляются жесткие требования, или для тех изделий, которые после формования подвергаются дополнительной обработке до требуемых размеров.

Проблему обеспечения точных наружных геометрических размеров и форм при изостатическом прессовании можно решить при воздействии давления прессования смеси изнутри наружу. Схема изостатического прессования, в котором уплотнение смеси происходит за счет усилия на

прессующем пуансоне и под действием давления жидкости, находящегося под эластичной оболочкой показано на рис. 1.5 [5].

Изостатическое прессование по принципу изнутри наружу заключается в том, что под действием усилия прессования пуансон 2 со смонтированной на нем эластичной оболочкой 4, выполненной в виде полых выступов, перемещается, уплотняя смесь в матрице 1 (рис. 1.5, а). В процессе перемещения пуансона 2 смесь между вершинами эластичных выступов 4 и нижним пуансоном 3 будет уплотняться, в результате чего сопротивление деформации смеси в матрице 1 тоже будет повышаться. Далее, в результате повышения сопротивления деформации смеси, выступы эластичных оболочек 4 начнут деформироваться по высоте (рис. 1.5, б). При этом благодаря жидкости под эластичными оболочками 4 происходит их расширение и уплотнение смеси вокруг этих выступов.

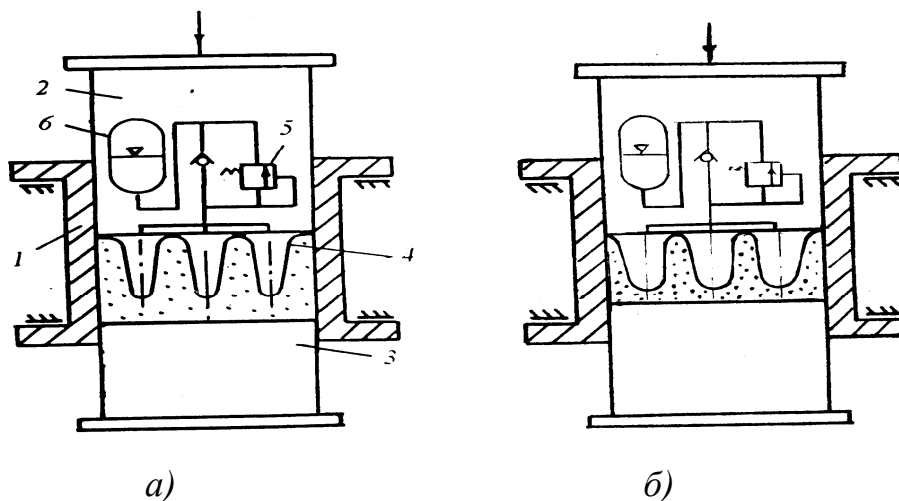


Рис. 1.5. Изостатическое прессование изнутри наружу с эластичными пустотообразователями

Для защиты от перегрузок и придания эластичной оболочке 4 первоначальной формы при снятии усилия прессования предусматривается предохранительный клапан 5 и гидроаккумулятор 6 с обратным клапаном. При изостатическом прессовании, как при воздействии давления прессования снаружи вовнутрь, так и при воздействии изнутри наружу гидравлическая энергия жидкости может быть непосредственно использована для

прессования смеси. Схема такого способа прессования изостатическое прессования изображена на рис. 1.6. [3]. При такой схеме изостатического прессования смесь в матрице 1 предварительно уплотняется пуансонами 2 и 3 (рис. 1.6, а). При достижении определенной плотности формуемой смеси прессующие пуансоны 2 и 3 фиксируются и включается гидрораспределитель 4 управления упругими оболочками 5, которые охватывают пустотообразователи 6. Далее жидкость под давлением поступает под упругие оболочки 5 и деформирует их. Деформация упругих оболочек 5 приводит к уменьшению замкнутого объема, образованного матрицей 1, нижним 2 и верхним 3 пуансонами, в результате которого происходит объемное прессование формуемого изделия изнутри наружу. При этом напряжение объемной деформации при правильно подобранных геометрических размерах пустотообразователей и формуемого изделия будет примерно одинаковым по всему объему изделия, и равно давлению жидкости под упругой оболочкой.

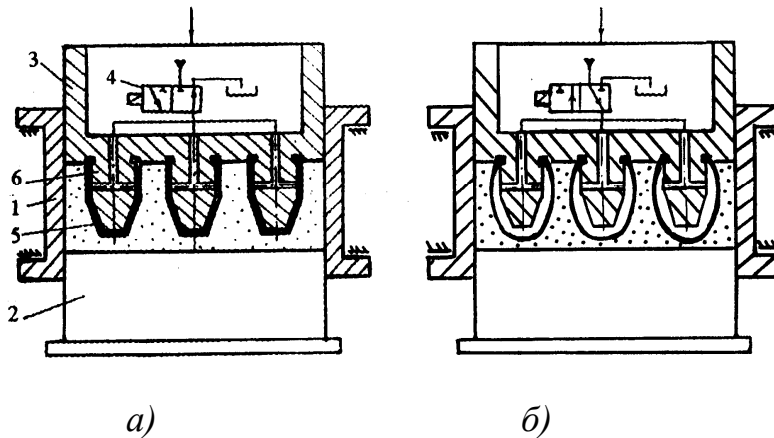


Рис. 1.6. Изостатическое прессование с давлением изнутри наружу.

Несмотря на преимущества изостатического прессования с давлением изнутри наружу в обеспечении одинаковой плотности по всему объему формуемого изделия ему присуще такой существенный недостаток, как неравномерность расширения упругих оболочек. Неравномерность расширения упругих оболочек под действием давления жидкости обусловлено тем, что из-за неодинаковой собственной жесткости первым



начинает деформироваться упругая оболочка, у которой окружная меридианная жесткость меньше остальных. Далее по мере деформации собственная жесткость деформированной упругой оболочки снижается, и эта упругая оболочка будет продолжаться деформироваться, смещая формуемую смесь в сторону недеформированных оболочек. Равномерность деформации упругих оболочек может быть достигнуто путем установки делителей потока жидкости или других устройств синхронизации деформации упругих оболочек.

Таким образом, при изостатическом прессовании, по сравнению с другими способами прессования, при одинаковом удельном давлении прессования достигается наибольшая степень уплотнения формуемого изделия. Причем наибольший эффект от использования изостатического способа прессования достигается при формовании габаритных и сложных по форме изделий.

В технологии получения керамики вибрационное прессование получило широкое применение, как для выполнения вспомогательных операций, так и в качестве самостоятельного способа прессований изделий. Сущность вибрационного способа прессования заключается в том, что под действием кинетической энергии, создаваемой вибратором, частицы уплотняемой смеси приводятся в состояние колебательного движения. При этом, из-за того, что частицы имеют не одинаковую массу возникающие силы инерции соответственно тоже будут иметь разную величину. Если разность сил инерции между частицами формуемой смеси достаточна, то силы связи между частицами нарушаются, и происходит их относительное перемещение. При этом отдельные частицы внутри формуемой смеси перемещаясь, заполняют пустоты, увеличивая тем самым плотность смеси. При вибрационном прессовании наряду с уплотнением смеси создаются благоприятные условия для удаления газовой фазы из уплотняемой смеси. В настоящее время известны множество схем реализации вибрационного способа уплотнения порошкообразных материалов, определяемое типом



уплотняемого материала, размерами и формой изделия и рядом других факторов. По характеру воздействия на уплотняемую смесь вибрационное прессование подразделяется на вибрационное и виброударное. Из множества схем реализации вибрационного прессования наиболее распространенными являются следующие схемы: свободное вибрационное прессование, вибрационное прессование со статическим прижимом пуансона; вибрационное прессование с динамическим прижимом пуансона. На рис. 1.7 а) представлена схема свободного вибрационного уплотнения. По такой схеме вибрационного уплотнения смесь загружается в матрицу 1, которая соединена с основанием 2 через упругий элемент 3, а вибратор 4 с круговыми или с направленными колебаниями устанавливается на матрице 1 сбоку или снизу.

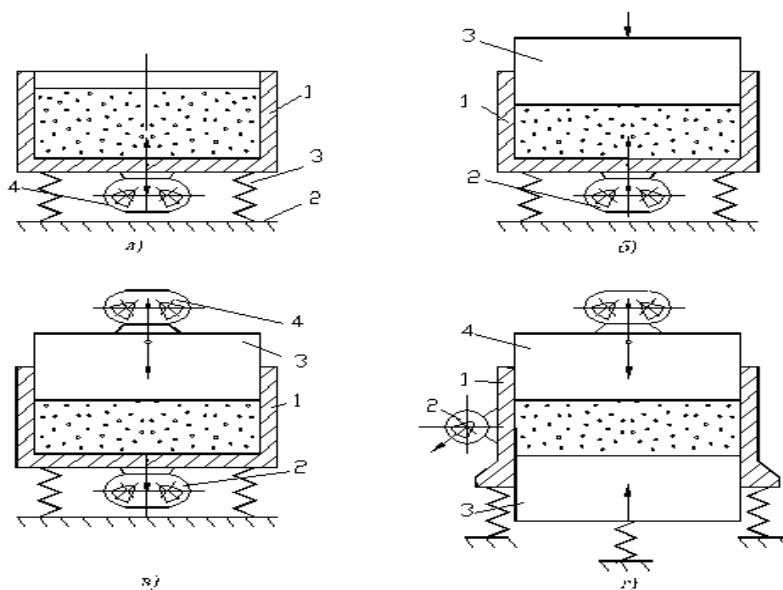


Рис. 1.7. Схемы вибрационного способа прессования

Наиболее высокая эффективность свободного вибрационного уплотнения достигается при формировании подвижной массы. При прочих равных условиях, влажность, при которой достигается наибольшая степень уплотнения, несколько превышает влажности смеси, предназначенной для статического прессования. Смесь, при требуемой для вибрационного уплотнения влажности в процессе вибрационного воздействия разжижается подобно бетонной смеси, и в результате этого





достигается предельная плотность уплотняемой смеси. В то же время при избыточной технологической связке плотность формуемого изделия может получиться меньше, чем при статическом прессовании смеси с меньшей влажностью.

Таким образом, основным недостатком вибрационного прессования в свободной матрице является недостаточная степень уплотнения, которая обусловлена избыточным, в формуемой смеси, объемом технологической связки по сравнению с объемами пор в неуплотненной смеси. Поэтому среди разновидностей вибрационного прессования наибольшее практическое применение получил вибрационное прессование, в котором сочетается статическое или динамическое прессование с вибрационным воздействием. Сочетание статического или динамического прессования с вибрационным воздействием позволяет, при прочих равных условиях, повысить степень уплотнения формуемого изделия и снизить количество временной связки в смеси. Схема вибрационного прессования со статическим прижимом представлена на рис. 1.7, б). По такой схеме вибрационного прессования уплотнение смеси в матрице 1 происходит в результате вибрационного воздействия со стороны вибратора 2 и статического прижима пуансоном 3. Статический прижим пуансоном 3, при прочих равных условиях, способствует повышению степени уплотнению смеси и его равномерности по объему формуемого изделия. При этом следует отметить, что с изменением параметров формуемой смеси изменяется и оптимальное значение удельного давления статического прижима. Значение удельного давления статического прижима оказывает существенное влияние на степень уплотнения формуемой смеси. При малых значениях удельного давления статического прижима, за счет разрыхления смеси, формуемое изделие получается менее уплотненным, а при высоких значениях удельного давления статического прижима колебания в формуемой системе быстро затухают, в результате которого снижается эффективность вибрационного прессования.



Оптимальное значение удельного давления статического прижима зависит от состава смеси и его влажности, габаритных размеров и формы изделия изменяется в широком диапазоне. При этом, следует отметить, что удельное давление статического прижима при вибрационном прессовании на порядок ниже, чем удельное давление прессования при статическом прессовании аналогичных изделий.

Несмотря на низкое значение удельного давления прессования статического прижима, его сочетание с вибрационным воздействием позволяет получить изделие с относительно высокой плотностью и равномерностью его распределения по объему формуемого изделия. Некоторое повышение плотности формуемого изделия достигается при использовании динамического прижима, принципиальная схема которого показана на рис. 1.7, в). При вибрационном прессовании с динамическим прижимом смесь в матрице 1 подвергается одновременному вибрационному воздействию как со стороны матрицы 1, так и со стороны пуансона 3 и вибратором 4. В зависимости от вида формуемой смеси, размером и формы изделия могут быть использованы схемы вибрационного прессования (рис. 1.7, з), в которой уплотнение смеси в матрице 1 достигается под воздействием возмущающей силы вибратора, установленного на матрице 1, при одновременном статическом и динамическом прижиме соответственно пуансонами 3 и 4.

Общим недостатком, присущим всем видам вибрационного прессования, является значительный шум при их работе и необходимость виброизолирующих фундаментов и использования деталей и узлов повышенной жесткости и прочности.

При статическом прессовании изделий сложной и неблагоприятной конфигурации возникают определенные сложности по обеспечению одинаковой плотности по всему объему формуемого изделия. В связи с этим для прессования таких изделий используют изостатический (гидростатический) способ прессования.



Процесс изостатического прессования осуществляется обычно резиновых или других эластичных оболочках, находящихся под всесторонним сжатием под действием приложенного давления. Особенность такого способа прессования заключается в том, что в этом случае исключается потери давления на трение смеси о стенки матрицы и обеспечивается всестороннее сжатие формуемого изделия.

Несмотря на повышение эффективности процесса полусухого прессования в плане обеспечения одинаковой плотности по всему объему формуемого изделия, сложности технической реализации изостатического способа прессования ограничивает, его широкое применение.

Недостатки присущие статическому и изостатическому способам прессования устраняется при использовании способа квазиизостатического прессования. Сущность квазиизостатического прессования заключается в том, что средой, передающей равномерное давление по всей поверхности формуемого изделия, является эластичный материал. При этом прессующая среда одновременно является и элементом, придающим формуемому изделию окончательную форму.

Одним из разновидностей способов полусухого прессования изделий является взрывной способ прессования, сущность которой заключается в том, что формование смеси осуществляется динамическим воздействием газов, образующихся в результате взрыва взрывчатых веществ. Основным преимуществом такого способа прессования является возможность получения изделия исключительно высокой плотности. В тоже время недостатком взрывного способа прессования является предрасположенность изделия, отформованного этим способом к трещинообразованию.

Горячее прессование порошкообразного материала используется в том случае, когда необходимо совмещение процессов прессования и спекание формуемой смеси. В зависимости от характеристик формуемой смеси и ряда других факторов процесс горячего прессования осуществляется при температуре, составляющей до 80% от температуры плавления формуемой



смеси. Поскольку при горячем прессовании технологическая связка требуется, этим устраняется одна из причин возникновения пористости отформованного изделия.

В тоже время способ горячего прессования является весьма сложным и дорогим. При этом основными недостатками этого способа прессования является низкая стойкость матрицы и прессующих пуансонов при температурах процесса, трудности полной механизации и автоматизации процесса. Кроме того, применение способа горячего прессования ограничивается получением изделия сравнительно простой формы.

Роликовое прессование по сравнению с другими способами прессования, не получило широкого применения. Такой способ прессования в настоящее время, в основном, для производства тротуарных и облицовочных плиток. Процесс уплотнения смеси при роликовом прессовании происходит в результате приложения к поверхности уплотняемой смеси кратковременных повторных нагрузок. Под действием этих нагрузок уплотняемая смесь в матрице деформируется. Процесс уплотнения смеси в матрице сопровождается деформацией, которая подразделяется на обратимую (упругую) и необратимую (остаточную). При этом полная деформация уплотняемой смеси не зависимо от ее величины всегда содержит обе составляющие, но их соотношение не является постоянным и определяется состоянием прессуемой смеси, величиной и характером прикладываемой нагрузки. При роликовом прессовании продолжительность напряженного состояния уплотняемой смеси значительно меньше, чем при других способах прессования. В результате этого за единичный проход ролика не обеспечивается достаточное уплотнение формируемой смеси. Поэтому для достижения требуемой степени уплотнения необходимо многократное повторение, что является одним из основных недостатков, этого способа прессования.

Анализ известных, на сегодняшний день, способов полусухого прессования строительных изделий показывает, что с точки зрения



получения качественного изделия, наибольший эффект достигается при использовании двухстороннего прессования с выдержкой под нагрузкой. При этом с точки зрения конструктивной реализации наиболее приемлемой является схема двустороннего прессования с неподвижной матрицей, в котором верхние и нижние прессующие пуансоны кинематически связаны через прессующий механизм.

При увеличении геометрических размеров формуемого изделия и соответственно повышении размера изделия по оси прессования использование двустороннего прессования становится недостаточным для получения качественного изделия. Это связано с тем, что с увеличением размера формуемого изделия по оси прессования пропорционально возрастает и потери давления прессования на трение между формуемым изделием и стенками матрицы. Поэтому при формовании габаритных изделий, например таких изделий как строительные блоки, наибольший эффект достигается при объемном способе прессования формуемого изделия. В тоже время несмотря на высокую эффективность объемного способа полусухого прессования изделий такой способ не получил широкого применения из-за его сложности конструктивной реализации.

На основании проведенного обзора и оценки эффективности известных способов полусухого прессования разработана их классификация, структурная схема которого представлена на рис. 1.8. Согласно представленной классификации, способы полусухого прессования строительных изделий подразделяются:

- по способу формования изделия на: пластическое полусухое и жесткое;
- по способу прессования изделия на: одностороннее, двустороннее, объемное и экструзивное;
- по способу реализации двустороннего прессования: с неподвижной матрицей, с подвижной матрицей, с подрессоренной матрицей и с плавающей матрицей;



- по количеству ступеней прессования на: одноступенчатую, двухступенчатую и многоступенчатую;

- по способу воздействия усилия прессования на уплотняемую смесь подразделяются на: статическое, динамическое, ударное, вибрационное, изостатическое, взрывное, гидродинамическое, горячее и роликовое.

Таким образом, проведенный обзор и анализ известных способов полусухого прессования строительных изделий показывает, что одним из причин, сдерживающего широкое распространение полусухого способа формования строительных изделий является низкая удельная производительность прессового оборудования. Последнее обусловлено тем, что у большинства прессового оборудования для производства строительных изделий после загрузки смеси в матрицу осуществляется механическое замыкание матрицы и открытие при выпрессовке отформованного изделия. Для выполнения этих операций, требуется определенное время, что в свою очередь, влечет за собой увеличение продолжительности цикла и соответственно снижения производительности. В связи с этим одним из резервов повышения эффективности производства строительных изделий полусухим способом является экструзивное формование, сущность которого заключается в том, что в процессе формование строительного изделия из полусухой смеси отсутствует механическое замыкание полости матрицы. При этом в качестве опорной поверхности при прессовании очередного изделия служит сила трения между отформованными изделиями на предыдущих циклах и стенками матрицы. Кроме этого, при таком способе прессования изделия происходит совмещение направления движения прессующего пуансона с направлением движения пуансона вовремя выпрессовки отформованного очередного изделия из матрицы. Иначе говоря, первая половина пути перемещения прессующего пуансона затрачивается на уплотнение формуемой смеси, а вторая половина - на выпрессовку отформованного изделия из матрицы.



# КЛАССИФИКАЦИЯ СПОСОБОВ ПРОИЗВОДСТВА КЕРАМИЧЕСКИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ

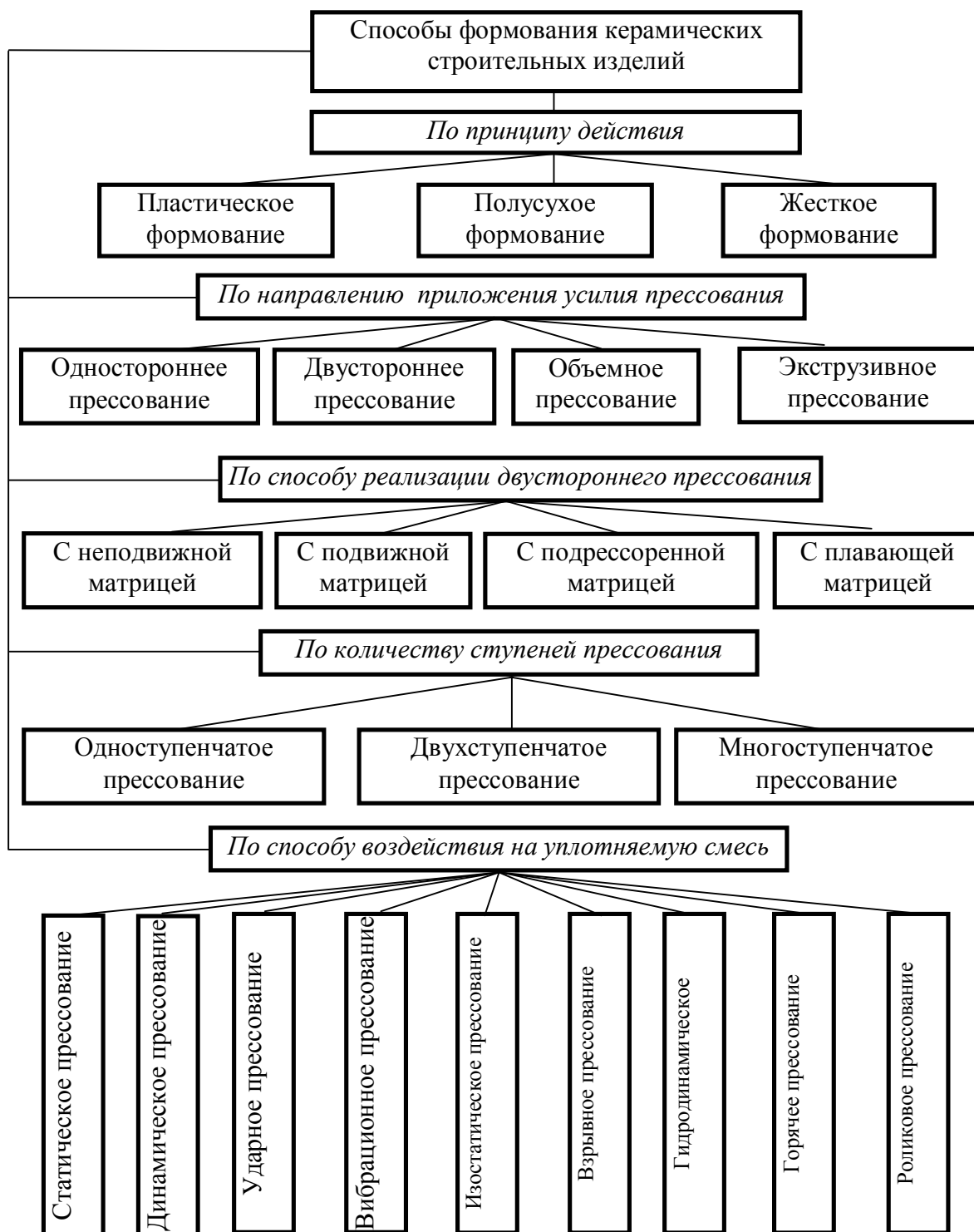


Рис. 1.8. Классификация способов полусухого прессования





## 1.2. Обзор оборудования для производства строительных изделий полусухим способом прессования

В производстве для формования строительных изделий полусухим способом прессования в настоящее время существуют множество прессового оборудования [18, 26, 29, 30, 31, 32, 39, 46, 48, 52, 66, 68, 70, 72, 81 - 89, 97, 100, 105, 113].

Все существующие прессы подразделяются на две группы: механические и гидравлические, которые, в свою очередь по принципу подачи смеси и выдачи изделий можно разделить на следующие группы:

1. Прессы с револьверным столом, периодически поворачивающимся вместе с матрицами и пуансонами на определенный угол.
2. Прессы с периодически челночно движущимся столом, на котором расположены матрицы и пуансоны.
3. Прессы с неподвижным столом.

В прессах с челночно движущимся или с неподвижным столом все операции формования засыпка смеси в матрицу, ее прессование, выпрессовка отформованного изделия и ее съем - протекают последовательно, тогда как в револьверных прессах эти операции осуществляются одновременно, но в разных местах поворотного стола. В первом случае длительность отдельных операций может быть различной, тогда как у прессов с револьверным столом все операции продолжаются в одинаковое время.

Оба принципа работы прессов обладают достоинствами и недостатками.

Вопросам исследования и повышения эффективности прессового оборудования при полусухом способе производства строительных изделий посвящено значительное количество работ [1, 2, 10, 30 - 37].

Рассмотрим каждую группу прессов по отдельности и опишем их достоинства и недостатки.





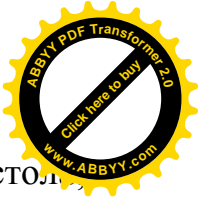
Револьверные прессы. К револьверным прессам относятся прессы марки СМС-152, СМ-816, выпускаемые институтом "Строммаш", а также зарубежными фирмами "Букау-Вольф", "Дорстенер", "Ротомат".

В прессах этой марки усилие от коленчатого вала через дифференциальный рычаг и прессующий рычаг, качающийся на опорной оси, передается поршню и пуансону, размещенным в формовочных гнездах револьверного стола. Пуансоны сжимают находящуюся в матрице смесь и через нее дают усилие на неподвижный контрпуансон, установленный на траверсе, которая закреплена на станине прессы.

Смесь подается в матрицу наполнительным аппаратом, снабженным вращающимися лопастями. Одновременно в разных местах заполняются, прессуются и выпрессовываются из матрицы два кирпича. Затем стол поворачивается на  $45^\circ$ , и цикл повторяется.

При описанной схеме передачи усилий прессующему поршню через прессующий рычаг с отношением  $1/4$  требуется значительное усилие на коленчатом валу (около 300 кН), и поэтому формовать одновременно более двух изделий даже при относительно небольшом удельном давлении не удается. Вследствие этого производительность прессов ограничена частотой вращения стола, определяемой, в свою очередь, его диаметром и минимально допустимой длительностью приложения формовочного усилия, составляющей примерно 1 с. При такой длительности и одностороннем давлении прессования, качество изделия получается недостаточным, а также не позволяет разместить в секторе стола диаметром 1,8-2 метра, ограниченным углом  $45^\circ$ , более двух формовочных гнезд. Давление прессования регулируется вручную путем изменения глубины засыпки форм.

В связи с приведенными выше недостатками револьверных прессов с рычагами второго рода многие зарубежные фирмы ("Букау-Вольф", "Дорстенер" и др.) стали выпускать револьверные прессы с коленно-рычажным прессующим механизмом.



Одной из особенностей этой конструкции является поворот стола осуществляемый обоймой, производимый цепями в колебательное движение непосредственно от коленчатого вала пресса через направляющие блоки. Это позволяет просто и надежно поворачивать стол на 90° и точно регулировать его положение относительно прессующего поршня в момент формования.

Второй отличительный признак этого пресса - автоматическое заполнение форм смесью, осуществляемое встряхивающим патрубком, расположенным между мешалкой и местом загрузки смеси в стол пресса.

Регулирование заполнения форм производится автоматически электрическим приводом путем встряхивания, в случае необходимости, а также и штампом, находящимся в заполняемой в нее смеси.

Револьверный пресс фирмы "Дорстенер" типа 104/203 отличается от предыдущего тем, что на нем можно одновременно формовать два вида изделий, например, пустотелый и сплошной кирпич. Это достигается тем, что соответствующие каждому виду изделий формы с пуансонами располагают через одно гнездо стола пресса, а сырец укладывают поочередно на две вагонетки.

В этих прессах усилие от коленчатого вала через шатун передается двум рычагам, из которых один нижним своим концом находится на оси, размещенной в станине пресса, а верхним концом соединен с шатуном и вторым рычагом, передающим усилие через прессующий поршень пуансона. При такой схеме расположения рычагов прессующего механизма можно передавать весьма значительные усилия прессующему поршню при относительно небольших усилиях на коленчатом валу.

Револьверный стол поворачивается после каждого цикла прессования на угол 90°. Это позволяет в данном секторе стола разместить одно большое гнездо, в котором можно с помощью сменных коробок образовывать группу пресс-форм различных размеров, разделенных перегородками. При такой конструкции прессующего механизма и револьверного стола длительность формования смеси можно увеличивать в два раза и одновременно передавать



удельное давление сырцу 30 МПа и более. Это даст возможность формовать полнотелый сырец не плашмя, как на обычных револьверных прессах, а на ребро и таким образом одновременно формовать до шести изделий, что позволяет вдвое увеличить производительность прессов по сравнению с предыдущей конструкцией. Но одновременно формовать более четырех кирпичей не удастся, поэтому производительность прессов ограничена частотой вращения стола, определяемой, в свою очередь, его диаметром и минимально допустимой длительностью приложения формовочного усилия. Кроме этого сохраняется односторонность давления прессования, что и влияет на качество изделия.

Прессы с челночным движением матрицы. К таким прессам относятся прессы, выпускаемые зарубежными фирмами «Атлас», «Крупп-Интертехник».

Пресс с коленно-рычажным прессующим механизмом фирмы «Атлас» Р-550 состоит из коленно-рычажной системы, выталкивающего поршня, прессующего плунжера с пуансоном, матрицы, верхнего пуансона, наполнительной мешалки и челночного стола. Регулирование заполненных форм смесью производится от преобразователя давления, передающего импульсы на систему подачи смеси. В случае необходимости автоматически изменяется длительность этого этапа.

Для каждого размера и типа изделий имеется сменная форма штампов, а если она предназначена для изготовления пустотелых изделий, то имеются и пустотообразователи. Кроме того, продольные стенки пресс-формы при формовании сырца на ребро имеют уширение в сторону выпрессовки. Это позволяет, как указывалось выше, снять напряжение в сырце при его выталкивании, а также уменьшить износ футеровки.

Все движения рабочим органам пресса передаются от электродвигателя через редуктор и кулак специальной формы. Кулак перемещает рычаг поступательно-возвратного движения стола и рычаг выталкивания сырца из



формовочных гнезд и передает усилие коленно-рычажному прессующему механизму.

Вначале стол подается под загрузочный механизм так, чтобы его формовочные гнезда вместе с опущенными объединенными пуансонами устанавливались под бункером смеси, затем стол (матрица) перемещается на позицию прессования, где он находится между прессующими органами, и, наконец, матрица со сформованным кирпичом-сырцом передвигается на позицию выпрессовки, где кирпич-сырец рычагом с помощью пуансона выпрессовывается из формы.

Одновременно можно формовать до 14 кирпичей на торец, что позволяет при значительной производительности пресса довести общий цикл формования до 9 с.

На рис. 1. 9 представлена принципиальная схема комплекса агрегатов гидравлического пресса «Крупп–Интертехник» с челночным движением стола для формования сырца при одностороннем уплотнении смеси, при этом верхняя траверса с контрпуансоном подрессорена, тогда как при двухстороннем уплотнении она находится под воздействием гидросистемы, которая опускает верхний пуансон на некоторую глубину в матрицу, и в этом случае точно соблюдается заданное удельное давление.

Челночный стол пресса оснащен двумя пресс-формами, от каждой из которых изделие отбирается и укладывается непосредственно на свою вагонетку. Одновременно можно, например, формовать в одной пресс-форме полнотельный одинарный кирпич, а в другой - пустотелые камни. Установка обслуживается гидравлической станцией, состоящей из трех насосов низкого и высокого давления. Все операции на этом прессе осуществляются автоматически, в том числе поддержание заданного удельного давления прессования, регулирование глубины засыпки смеси, отбор и укладка сырца, подача порожних и откатка загруженных сырцом вагонеток. На прессе можно одновременно формовать 16 одинарных кирпичей на ребро или 10 двойных кирпичей плашмя.

В связи с тем, что в одной пресс-форме уплотняется смесь, а во второй в это же время происходит выпрессовка отформованного изделия, его съем и заполнение формы смесью, достигается высокая производительность пресса, но при этом односторонность давления прессования влияет на качество изделия.

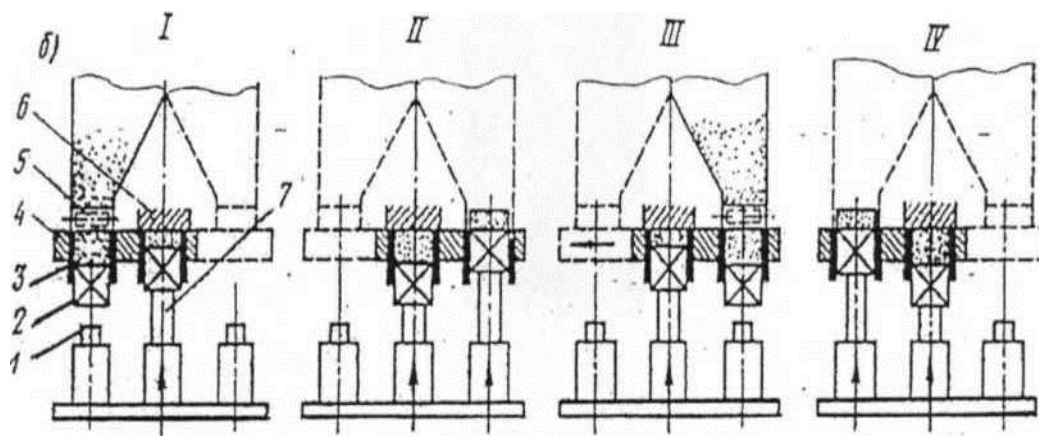


Рис. 1.9. Принципиальная схема гидравлического пресса «Крупп-Интертехник»: 1- выталкивающий плунжер; 2 - штамп; 3-пресс-форма; 4-стол загрузочный ящик; 6-контрштамп; 7- прессующий плунжер: I - заполнение смесью левой пресс-формы, формование сырца правой; II - начало формования в левой пресс-форме, выпрессовка и съем сырца из правой; III –заполнение смесью правой пресс-формы, окончание формования левой; IV - выпрессовка и съем сырца с левой пресс-формы, начало формования в правой.

Прессы с неподвижным столом. К их числу относятся прессы типа СМ-1085 и их модификации, СМК-74, СМК-491, СМ-301, зарубежные прессы фирмы "Сатклифф и Спикмен", и "Бойда", "Ридлия" и др.

Принцип работы данного пресса отличается от пресса с челночным движением стола лишь тем, что над неподвижным столом возвратно-поступательно перемещается ящичный питатель для заполнения пресс-формы смесью. К передней части питателя прикреплен пневмосъемник, переносящий сформованные кирпичи, после их выпрессовки, на



накопительный конвейер. На этом прессе можно одновременно формовать до пяти двойных кирпичей при длительности цикла 7 секунд и двухстороннем уплотнении смеси.

Прессующий механизм выполнен «плавающим» относительно формы коленно-рычажной системы.

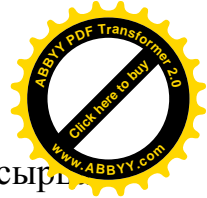
Гидравлика пресса обслуживается двумя создающими разное давление насосами. На подвижном питателе размещены контрпуансон и захваты, забирающие выпрессованные изделия и передающие его на накопитель укладчика.

Все движения прессующему плунжеру, в том числе и его обратный ход, передаются тремя гидроцилиндрами, воздействующими на траверсу. Один из этих цилиндров используется кратковременно, когда нужно создать максимальное усилие прессования.

В связи с использованием гидравлики минимальная длительность цикла формования составляет 7,2 секунд, в том числе чистого сжатия - около 4 секунд. Двукратное сжатие смеси и возможность выдержки под максимальным давлением до 3 секунд позволяет получить изделия высокого качества.

Анализ параметров и принцип работы существующих прессов показывает, что качество выпускаемых изделий во многом зависит от технологических характеристик прессов.

Основными технологическими характеристиками существующих прессов являются характер изменения удельного давления прессования во времени, суммарная площадь одновременно прессуемых изделий, способ приложения усилий, заполнения форм смесью и возможность изменения типа формируемых изделий, а также возможность автоматического регулирования давления. Из табл. 1.1, в которой приведены некоторые технологические характеристики прессов основных типов, видно, что значительное отличие имеется в характере и длительности действия нагрузки при формовании. Согласно технологии производства строительных изделий



полусухим способом прессования требуется обязательная выдержка сырья под максимальным давлением от 0,5 секунд до нескольких секунд. Это позволяет, как было отмечено выше, формовать более сухие смеси (4-4,5 % влажности), способствует хорошему их уплотнению, релаксации упругих напряжений, запрессовке меньшего количества воздуха и обеспечивает высокое качество кирпича.

Таблица 1.1 - Технологическая характеристика прессов различных типов для формования кирпичей

Показатель	СМ-816 СМС-152	Рого- мат	"Дорсте- нер" 104/103	Р-550	СМ-1085А	S-S-500	"Круп- Интер."
Характеристика стола	Револьверный			Поступ движение	Непод	Неподв	Челночное движение
Передача давлений	Механическая			Мех-я с гидрав	Мех-я 2-х крат.	Гидрав 2-х крат.	Гидрав однократ.
Наибольшая суммарная площадь одновр. прессуем, изд. 2дм	6/6	10,2/12	10,2/11,8	13/15	14,8/15	18,5/16,2	26/30
Длительность цикла формования	2,34/ 2,8	3,85	3,6-4	6-9	6,7/7,1	7,2	20
В том числе: Сжатия смеси	0,8/0,9	1,92	1,4-1,6	2,2-3,4	1,65/1,75	3,2	6-9
Регули-я давления	отсутств ует	Автоматическое					
Одностор или двустор. давлен.	Одностороннее			Одно и двустороннее	Двустороннее		





Благодаря относительно высокой производительности, возможность получения точных размеров изделия по высоте, простоте обслуживания и ремонта наиболее широкое применение получили коленно-рычажные и фрикционные прессы. В тоже время коленно-рычажным прессам присущи и определенные недостатки: сложность регулирования режима прессования, колебания плотности формуемого изделия в зависимости от изменения параметров смеси, сложность замера и контролирования усилия прессования, а также сложность предохранения прессового оборудования от перегрузок. Кроме этого, коленно-рычажному прессу свойственно еще одна особенность, заключающаяся в возможности получения в конце процесса прессования большие значения усилия прессования при малых скоростях перемещения прессующего пуансона.

Коленно-рычажный пресс СМ-301 предназначен для формирования пустотелого и обыкновенного кирпича, а также на этом прессе можно формировать облицовочные плитки из смеси с влажностью 8 – 12 % [7].

Прессовое оборудование СМ-301 имеет две прессующие системы, каждая из которых может работать самостоятельно независимо друг от друга и одновременно формировать по четыре изделия, при этом эти системы имеют общий привод. Цикл работы механизмов прессового оборудования сдвинут относительно друг друга на  $180^{\circ}$  и совершается за один оборот коленчатого вала. При этом благодаря «плавающей» пресс-форме обеспечивается двустороннее, а за счет трехзвенного шарнирного механизма достигается двухступенчатое прессование формуемого изделия. Изделие прессуется при заданном давлении, которое регулируется и ограничивается в зависимости от свойств смеси системой гидравлических амортизаторов. В результате чего соблюдается заданные технологические режимы прессования. Предварительно подготовленная смесь поступает по двум рукавам в засыпные ящики, откуда в каретки, а затем в пресс-формы прессового оборудования. Загрузка смеси и регулировка глубины загрузки смеси в пресс-форме производится автоматически.





Коленно-рычажный пресс ПК-630 отличается от прессы СМ-143 прессующим механизмом и механизмом выпрессовки. Нижняя траверса прессы ПК-630 жестко закреплена к боковым штангам, в результате этого прессующая система, в отличие от прессы СМ-143, где нижняя траверса свободно перемещается вдоль штанг, образует жесткую систему.

Выпрессовка отформованного изделия происходит при помощи опорного ролика и копира, закрепленного на шатуне. После завершения операции прессования, при дальнейшем вращении коленчатого вала шатун, опираясь на ролик, действует как рычаг и поднимает прессующую систему вместе с изделием вверх.

В таблице 1.2 приведены технические характеристики коленно-рычажных прессов.

Рассматривая приведенные прессы с точки зрения их соответствия по основным технологическим требованиям, следует отдать предпочтение прессам двустороннего прессования с длительной выдержкой сырца под заданным давлением. Наряду с этим должна быть обеспечена высокая производительность прессов и возможность быстрой переналадки их на изготовление изделий широкого ассортимента. Этим требованиям отвечают в большой мере прессы с челночно движущимся или неподвижным столом, которые получили в настоящее время наибольшее распространение.

Таблица 1.2 - Техническая характеристика коленно-рычажных прессов

Показатель	СМ-143	СМ – 1085А	ПК- 630	«Красный Октябрь»	СМ- 301	КО - 741
Марка прессы	СМ-143А					
Производительность по условному кирпичу, шт/ч	2400	2040	2040	2800	5000	3000



Продолжение табл. 1

Номинальное прессовое усилие, МН	4,25	6,3	6,3	2,5	5,4	12,5
Наибольшая высота загрузки смеси, мм	185	200	215	165	160	260
Максимальная толщина формуемых изделий, мм	100	100	100	80	80	125
Потребляемая мощность, кВт	23,5	28	24,7	10	41	75
Масса, т	31,4	31,5	27,9	16	41	145

Анализ соответствия рассмотренных прессов, предъявляемым к ним технологическим требованиям показывает, что, в первую очередь предпочтение следует отдать прессам двустороннего прессования. При этом должны быть обеспечены высокая производительность и возможность быстрой переналадки их на выпуск изделий широкого ассортимента. Этим требованиям в большей мере отвечают гидравлические прессы, которые получили в настоящее время наибольшее применение. Кинематика и эксплуатация гидравлических прессов значительно проще, чем механических, поэтому в будущем они должны стать основными агрегатами для формования строительных изделий, в том числе и кирпича.

Из приведенного обзора видно, что для полусухого формования таких изделий, как строительный кирпич, основным условием получения качественного изделия является двустороннее прессование с требуемым удельным давлением. В отношении конструктивного исполнения прессового оборудования, то, несмотря на их многообразие, коленно-рычажные прессующие механизмы наиболее полно отвечают технологическим требованиям процесса прессования смеси, а что касается привода, то



гидравлический привод имеет ряд преимуществ по сравнению с остальными видами приводов.

Общим недостатком, свойственным всем существующим прессовым оборудованьям для производства строительных изделий полусухим формованием, является их низкая удельная производительность. Это обусловлено тем, что значительная часть времени цикла затрачивается на механическое замыкание полости матрицы в процессе прессования изделия и на открытие в процессе выпрессовки отформованного изделия из полости матрицы. В связи с этим повышение эффективности прессовых оборудований для производства строительных изделий полусухим способом формования может быть достигнуто при использовании экструзивного способа формования. В этом случае отпадает необходимость механического замыкания полости прессования матрицы в процессе прессования изделия и открытие полости матрицы в процессе выпрессовки отформованного изделия. Исключение этих операций из цикла позволит значительно сократить продолжительность цикла, что в свою очередь приведет к повышению производительности прессового оборудования для производства строительных изделий полусухим способом формования. В тоже время исследование экструзивного способа полусухого формования строительных изделий не проводились, а имеющиеся в научно-технической литературе выполнены на уровне предположений и изобретений.

Таким образом, обзор существующего прессового оборудования по производству строительных изделий полусухим способом формования показывает, что, несмотря на их многообразие они могут быть классифицированы по следующим основным признакам:

1. По принципу действия: циклические и непрерывные.
2. По способу приложения усилия прессования к уплотняемой смеси: односторонние, двусторонние, изостатические и экструзивные.
3. По режиму процесса приложения усилия прессования: одноступенчатые, двухступенчатые, трехступенчатые, ударные и с выдержкой формируемого изделия под давлением.



4. По способу создания усилия прессования: механические, гидравлические и комбинированные.

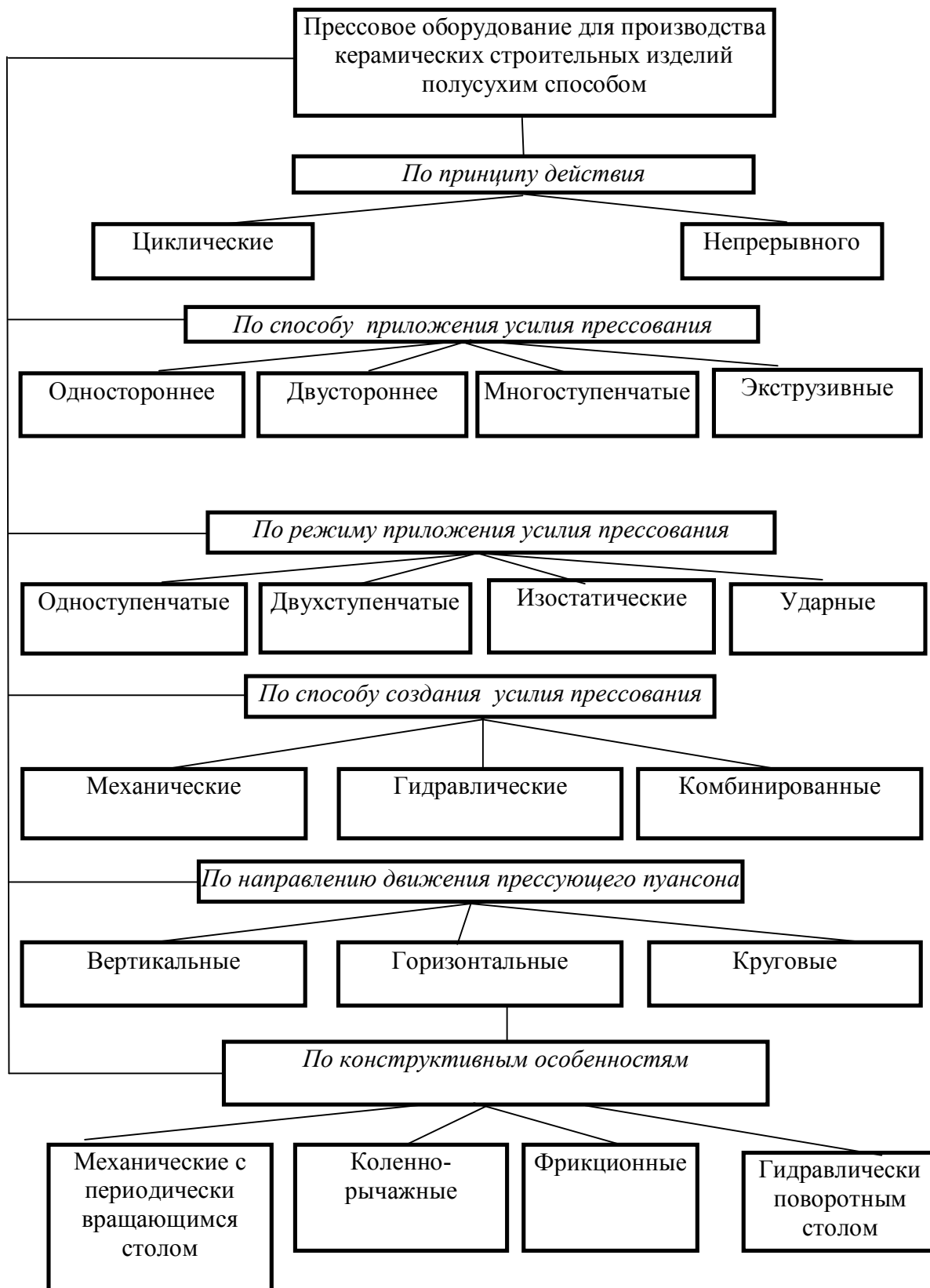
5. По конструктивным особенностям: коленно-рычажные, механические с периодически вращающимся столом, механические с непрерывно вращающимся столом, фрикционные, гидравлические однопозиционные и гидравлические с поворотным столом.

6. По направлению движения прессующего пуансона: вертикальные, горизонтальные и круговые.

На рис. 1.10 представлена структурная схема классификации существующих прессов по производству строительных изделий полусухим способом формования.



## КЛАССИФИКАЦИЯ СПОСОБОВ ПРОИЗВОДСТВА КЕРАМИЧЕСКИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ



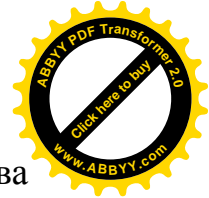


Рис. 1.10. Классификация прессового оборудования для производства строительных изделий полусухим способом формования

### 1.3. Обзор и анализ теоретических положений, описывающих процессы, протекающие при полусухом формовании изделий

В случае отсутствия сил внешнего трения в соответствии с законом механики, при формовании изделия усилие прессования, независимо от его величины, передавалось бы от слоя к слою до опорной поверхности. Однако трение между уплотняемой смесью и боковыми стенками матрицы возникает в результате бокового распора и определяется как произведение суммарного бокового давления на коэффициент трения между смесью и боковыми стенками матрицы. Величина бокового давления изменяется по высоте формируемого изделия и не подчиняется закону Паскаля об одинаковом и всестороннем распределении давления как при сжатии жидкости.

Первой зависимостью по описанию физико-механических процессов, протекающих при прессовании порошкообразного материала, является формула Баландина П.П., полученная еще в 1938 году [2]. В этой формуле установлена зависимость изменения напряжения по высоте формируемого изделия от параметров пресс-формы и смеси

$$P_n = P_n \exp - m (h_{из} / R), \quad (1.1)$$

где  $P_n$  – давление со стороны неподвижного пуансона;  $P_n$  – давление прессования со стороны подвижного пуансона;  $m$  – произведение коэффициентов внешнего трения и бокового распора;  $h_{из}$  – высота формируемого изделия;  $R$  – гидравлический радиус горизонтального сечения формируемого изделия, определяемый как отношение площади горизонтального сечения изделия к его периметру.

Аналогичная зависимость, описывающий процесс изменения давления прессования по высоте формируемого изделия получена в работе [3]

$$q_n = \frac{q_n (2 R - h_{из} k_b \mu)}{2 R + h_{из} k_b \mu}, \quad (1.2)$$



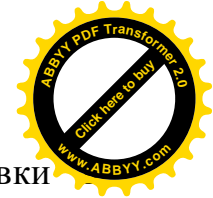
где  $q_n$  – давление со стороны прессующего пуансона;  $q_n$  – давление на неподвижном пуансоне;  $m$  – произведение коэффициентов внешнего трения и бокового распора;  $k_b$  – коэффициент бокового распора;  $\mu$  – коэффициент трения смеси о стенки матрицы.

Из уравнения (1.1) видно, что применимость этого уравнения ограничивается высотой формуемого изделия в пределах ( $0 < h_{из} < R / m$ ). При дальнейшем увеличении высоты формуемого изделия усилие, воспринимаемое неподвижным пуансоном, принимает отрицательное значение, что не соответствует реальному процессу происходящего при формировании изделия. При прочих равных условиях с увеличением значения гидравлического радиуса горизонтального сечения формуемого изделия перепад давлений уменьшается, причем при малых значениях гидравлического радиуса интенсивность изменения перепада напряжений независимо от метода прессования увеличивается.

Оценка соответствия уравнения (1.2) граничным условиям показывает, что данное уравнение описывает изменение давления прессования на неподвижном пуансоне в диапазоне изменения высоты формуемого изделия ( $0 < h_{из} < R / 0,5 k_b \mu$ ). При превышении высоты формуемого изделия значения ( $R / 0,5 k_b \mu$ ) давление прессования на неподвижном пуансоне принимает отрицательное значение. В случае, когда высота формуемого изделия  $h_{из} \rightarrow \infty$ , то  $q_n \rightarrow -q_n$ . Поэтому данное уравнение применима для определения перепада давлений для изделий, высота которых находится в указанном выше диапазоне. В качестве примера можно привести следующие данные: при формировании изделия с геометрическими размерами (120 x 250) мм уравнение (1.2) применимо при высоте до 400 мм. При такой высоте изделия относительная высота составляет  $h_{из} / R = 10$ . Отношение высоты изделия к гидравлическому радиусу большинства строительных изделий, выпускаемых в настоящее время, не превышает 3-3,5.

Выводу уравнения для определения усилия или давления выпрессовки отформованного изделия из матрицы посвящены лишь отдельные работы. В





основном приводятся рекомендуемые значения усилия выпрессовки процентах от усилия прессования, которые получены в процессе экспериментальных исследований для конкретных геометрических параметров изделия и прессуемой смеси. Например, для строительного кирпича в зависимости от влажности смеси и состояния поверхности стенки матрицы усилие выпрессовки составляет 5–15 % от усилия прессования [2].

Из уравнений по определению усилия, необходимого для выпрессовки отформованного изделия из матрицы можно привести уравнение В.Е.Верниковского [10]

$$p_v = \xi p_1 \{ \exp [1 - \exp (- k_{\sigma} \mu h_{uz} / R)] - 1 \}, \quad (1.3)$$

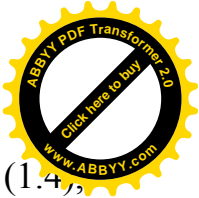
где  $\xi$  - коэффициент, учитывающий уменьшение боковых напряжений в отформованном изделии после снятия усилия прессования.

Оценка соответствия уравнения (1.3) граничным условиям показывает, что при  $h_{uz} = 0$ ,  $p_v = 0$ , а при  $h_{uz} = \infty$ ,  $p_v = p_1 \xi (e - 1)$ . Следовательно, в диапазоне изменения  $0 < h_{uz} < \infty$  максимальное значение отношения давления выпрессовки к давлению прессования, в зависимости от значения коэффициента, учитывающего уменьшение боковых напряжений при снятии давления прессования, может изменяться в пределах от нуля до 1,72.

Максимальное значение давления выпрессовки отформованного изделия при прочих равных условиях будет равно давлению прессования, тогда значение коэффициента, учитывающего уменьшение боковых напряжений при снятии давления прессования, равно

$$\xi = \frac{1}{\exp [1 - \exp (- (k_{\sigma} h_{uz} \mu) / R)] - 1}. \quad (1.4)$$

Анализ зависимостей (1.3) и (1.4) показывает, что при значении коэффициента  $\xi$ , учитывающего уменьшение бокового напряжения при разгрузке от давления прессования, равном единице, максимальное значение отношения давления выпрессовки к давлению прессования достигает 1,7. В



случае, когда значение коэффициента  $\xi$  определено по уравнению (1.4), максимальное значение отношения давления выпрессовки к давлению прессования равно единице. С уменьшением значения коэффициента  $\xi$  максимальное значение отношения давления выпрессовки к давлению прессования уменьшается. Изменение значения произведения коэффициентов бокового распора и внешнего трения не влияет на максимальное значение отношения давления выпрессовки к давлению прессования, а лишь влияет на характер изменения кривых. Кроме того, при достижении определенной высоты формуемого изделия, усилие выпрессовки, независимо от дальнейшего увеличения высоты изделия, остается постоянным. Такое положение не вполне соответствует действительности.

В работе [3] приведено уравнение по определению усилия, необходимого для выпрессовки отформованного изделия из матрицы

$$q_в = \frac{2 q_n h_{из} k_о \mu \xi (1 + k_о \mu)}{2 R + h_{из} k_о \mu}. \quad (1.5)$$

Оценку известных зависимостей по определению усилия, необходимого для выпрессовки отформованного изделия из матрицы обычно проводится по отношению давления выпрессовки к давлению прессования. Поэтому сравним известные зависимости (1.3) и (1.5) на соответствие граничным условиям и по степени точности описания процесса.

Результаты расчетов по уравнениям (1.3) и (1.5) в диапазоне изменения относительной высоты формуемого изделия от нуля до 20 отличаются незначительно. Причем при расчете по уравнению (1.3) отношение давления выпрессовки к давлению прессования стабилизируются при достижении относительной высоты изделия  $h/R = 20$ . Дальнейшее увеличение относительной высоты формуемого изделия практически не оказывает влияние на отношение давления выпрессовки к давлению прессования.

Интенсивность изменения отношения давления выпрессовки к давлению прессования от относительной высоты изделия по уравнению (1.5),

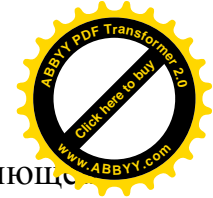


с увеличением значения относительной высоты изделия, уменьшается. Также изменение значения отношения давления выпрессовки к давлению прессования больше соответствует реальной картине, происходящей в процессе выпрессовки отформованного изделия, чем при использовании уравнения (1.3), в котором усилие выпрессовки стабилизируется. Действительно, если относительная высота изделия больше 20, то в процессе выпрессовки неуплотненная часть смеси в матрице все равно оказывает сопротивление перемещению, которое, в свою очередь, формирует дополнительное сопротивление при выпрессовке уплотненной части изделия. Поэтому утверждение, приводимое в работе [4] о том, что при  $h \rightarrow \infty$  максимальное значение отношения давления выпрессовки к давлению прессования составляет 1,7, является, на наш взгляд, ошибочным.

Зависимость между удельным давлением прессования и показателями формуемого изделия обычно дается в табличной, графической или аналитической форме. Табличная и графическая формы используются, в основном, для иллюстрации экспериментальных данных прессования смеси с конкретными параметрами. Для анализа протекающих в процессе прессования физико-механических явлений необходимо эту зависимость представить в виде функциональной зависимости.

Влияние удельного давления прессования на процесс уплотнения формуемого изделия можно выразить через различные взаимосвязанные показатели, характеризующие степень уплотнения. Это такие показатели: относительная плотность, пористость, коэффициент пористости, относительный объем, коэффициент сжатия и относительная деформация.

Из приведенных показателей, при производстве строительных изделий, наиболее широкое применение получили коэффициент сжатия (уплотнения), определяемый как отношение изменения объема засыпки к первоначальному объему засыпки смеси или как отношение осадки смеси к высоте засыпки, получившее название относительная деформация смеси.



Несмотря на разнотипность известных уравнений, их объединяющей особенностью является то, что по мере увеличения деформации смеси в процессе прессования влияние приращения давления прессования на степень уплотнения формуемого изделия снижается. Если классифицировать по математическим признакам, то известные уравнения прессования можно сгруппировать в три типа: экспоненциальные, логарифмические и степенные уравнения.

Применительно смесям для формования огнеупоров П.П.Баландиным было предложено следующее уравнение [2]

$$\delta = H / \eta (1 - e^{-a\eta q^n}), \quad (1.6)$$

где  $\delta$  - полная осадка смеси;  $H$  - глубина засыпки смеси;  $q$  - давление прессования;  $a$ ,  $\eta$ ,  $n$  - постоянные, характеризующие прессуемую смесь.

Аналогичное экспоненциальное уравнение прессование, описывающее зависимость коэффициента сжатия от давления прессования, предложено М.Я.Сапожниковым [4]

$$k_{сж} = k_{кр} (1 - e^{-\frac{q}{\mu}}), \quad (1.7)$$

где  $k_{сж}$  - коэффициент сжатия смеси;  $\mu$  - коэффициент, определяемый экспериментально;  $q$  - давление прессования;  $k_{кр}$  - критический коэффициент Уравнения П.П.Баландина и М.Я.Сапожникова дают удовлетворительную сходимость результатов экспериментальных данных и кривых прессования, полученных расчетным путем. Кроме этого, эти уравнения отвечают граничным условиям. При давлении прессования, равном нулю, в уравнениях (1.6) и (1.7), соответственно, полная осадка смеси и коэффициент сжатия равны нулю. В случае бесконечно возрастающего давления прессования, т.е. когда  $q \rightarrow \infty$ , полная осадка прессуемой смеси стремится к постоянной величине  $H/\eta$ , коэффициент сжатия становится равным критическому коэффициенту сжатия. Под бесконечно большим давлением прессования понимается бесконечно возрастающее давление, которое сближает,



деформирует и разрушает частицы прессуемой смеси до получения компактного тела без нарушения атомной структуры частиц.

Из экспоненциальных уравнений, описывающих процесс прессования порошковых масс, наибольший интерес представляют уравнения, предложенные В.Е. Верниковским [4].

Уравнение прессования В.Е.Верниковского для изделия в свободном состоянии имеет вид

$$\rho_{св} = \rho_{кр} - (\rho_{кр} - \rho_o) \exp(-a q^n), \quad (1.8)$$

где  $\rho_{св}$  - плотность изделия;  $\rho_{кр}$  - критическая плотность, определяемая расчетным путем (полное устранение воздушных пор, но без выжимания связки);  $\rho_o$  - плотность исходной засыпки;  $q$  – давление прессования;  $a$  и  $n$  - постоянные, определяемые экспериментально для прессуемой массы.

Достоинствами уравнения В.Е.Верниковского являются полное соответствие граничным условиям. При  $q = 0$   $\rho_{св} = \rho_o$ , а при  $q \rightarrow \infty$  получаем  $\rho_{св} = \rho_{кр}$  и возможность учета упругого расширения отформованного изделия в матрице после снятия давления, а также применимость в широком диапазоне давлений. Благодаря этим достоинствам они получили широкое применение при обосновании параметров прессов, а именно при построении полных кривых сжатия и сопротивления при выпрессовке отформованных изделий.

Наряду с экспоненциальными уравнениями прессования известны и логарифмические уравнения. К таким уравнениям относятся уравнения прессования А.С. Бережного [4] и М.Ю. Бальшина [8].

Уравнение прессования А.С.Бережного имеет вид

$$\xi = a - b \lg q \quad (1.9)$$

где  $\xi$  - пористость;  $a$  и  $b$  – константы, определяемые свойствами смеси;  $q$  – давление прессования.



В уравнении А.С. Бережного, коэффициенты  $a$  и  $b$ , определяются экспериментальным путем. При этом наибольшая точность определения значения коэффициентов достигается при условии  $5 < q_2 / q_1 < 10$ . Для меньших значений соотношения давлений прессования снижается точность экспериментальных данных, а при больших значениях соотношения увеличивается отклонение от линейной логарифмической зависимости внутри рассматриваемого интервала давлений прессования. При наличии экспериментальных данных, значения коэффициентов  $a$  и  $b$ , определяются по следующим выражениям:

$$b = (\xi_1 - \xi_2) / (\lg q_2 / q_1); \quad (1.10)$$

$$a = q_1 + \left( \frac{\lg q_1}{\lg q_2 / q_1} \right) (\xi_1 - \xi_2). \quad (1.11)$$

Кривая сжимаемости прессуемой смеси, полученная расчетным путем, должна приближаться к экспериментальной в диапазоне изменения давлений прессования, которые применяются при формовании изделий. Однако, анализ уравнения (1.10) показывает, что данное уравнение не отвечает граничным условиям при нулевом и бесконечно большом давлении прессования. При давлении прессования  $q = 0$  пористость  $\xi \rightarrow -\infty$ , а при  $q \rightarrow \infty$   $\xi \rightarrow +\infty$ .

Уравнение прессования М.Ю. Бальшина незначительно отличается от уравнения А.С. Бережного. Эти уравнения получены из предположения, что геометрической прогрессии изменения давления прессования соответствует арифметическая прогрессия изменения степени уплотнения.

Уравнение М.Ю. Бальшина, устанавливающее изменение коэффициента пористости формуемого изделия в процессе прессования от давления прессования, имеет вид

$$\psi = C / L - 1 / L \lg q, \quad (1.12)$$

где  $\psi$  - коэффициент пористости;  $C$  и  $L$  - коэффициенты, определяемые свойствами прессуемой смеси;  $q$  - давление прессования.



Благодаря простоте для керамических и огнеупорных масс, наибольшее практическое применение получило степенное уравнение прессования, предложенное С.С. Казакевичем [8]

$$k_{сж} = a q^n, \quad (1.13)$$

где  $k_{сж}$ - коэффициент сжатия смеси;  $a$  и  $n$ - коэффициенты, зависящие от свойств прессуемой массы.

Аналогично коэффициентам уравнения А.С. Бережного, для определения значений коэффициентов уравнения (1.12) достаточно знать насыпную плотность смеси и экспериментальные значения коэффициента сжатия при двух значениях давления прессования. В этом случае коэффициенты уравнения С.С. Казакевича определяются выражениями

$$n = (k_{сж2} - k_{сж1}) / (q_2 / q_1); \quad (1.14)$$

$$\lg a = \lg k_{сж1} - n \lg q_1. \quad (1.15)$$

Известно также уравнение прессования Г.М. Ждановича для порошковых масс [10]. Это уравнение, в преобразованном виде, устанавливает сложную степенную зависимость между коэффициентом уплотнения смеси в процессе прессования изделия и давлением прессования:

$$k_y = 1 - n \sqrt{\frac{q_k K_{mv}^n (1 + 0,5 A_\beta)}{q (1 - K_{mv}^n) + q_k K_{mv}^n (1 + 0,5 A_\beta)}}, \quad (1.16)$$

где  $k_y$ -коэффициент уплотнения;  $q_k$  - давление прессования, соответствующее максимальному упрочнению формуемого изделия;  $K_{mv}$  – относительная плотность;  $A_\beta$  и  $n$  – постоянные, определяемые экспериментально.

Оценка соответствия уравнения (1.15) граничным условиям показывает, что при давлении прессования, равном нулю, коэффициент уплотнения тоже равно нулю ( $k_y = 0$ ). В случае, когда давление прессования стремится к бесконечности, коэффициент уплотнения пропорционально стремится к единице, что не вполне соответствует действительности.

Анализ всех рассмотренных уравнений прессования показывает, что одни уравнения получены путем математической обработки результатов





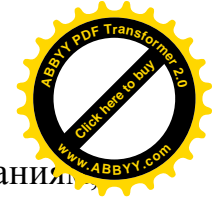
экспериментальных исследований, другие - путем более или менее удачных теоретических предположений. В то же время уравнения, полученные теоретическим путем, не имеют явных преимуществ перед эмпирическими и полуэмпирическими уравнениями. Ввиду компактности по структуре из рассмотренных уравнений прессования наибольшее практическое применение получило уравнение С.С.Казакеевича [10].

Как отмечалось выше, влияние давления прессования на процесс уплотнения прессуемой смеси можно выразить через различные взаимосвязанные параметры, характеризующие степень уплотнения формуемого изделия. К этим параметрам относятся относительная плотность, пористость, коэффициент пористости, коэффициент сжатия, коэффициент относительной деформации и другие. Из этих показателей наиболее универсальным показателем, наглядно иллюстрирующим степень уплотнения прессуемой смеси, является коэффициент относительной деформации, определяемый как отношение величины деформации смеси в процессе прессования к первоначальной высоте засыпки.

Предельное значение коэффициента относительной деформации можно определить из уравнения предельной плотности или критического коэффициента сжатия [4]. В соответствии с этими уравнениями предельное значение коэффициента относительной деформации можно записать в виде

$$\Delta h_{np} = 1 - \frac{\rho_o}{\gamma_{mv}} + \frac{W \rho_o}{(100 - W) \gamma_{жс}}. \quad (1.17)$$

Анализ рассмотренных уравнений прессования показывает, что, несмотря на соответствие многих уравнений граничным условиям и кривых, полученных экспериментальным путем, в уравнениях не учитывается такой фактор, как влияние значения гидравлического радиуса на изменение сопротивления смеси в процессе его деформации или изменение перепада давления по высоте формуемого изделия. В то же время, анализ уравнения (1.1) и (1.2) показывает, что при изменении значения гидравлического радиуса кривая прессования подвергается как количественному, так и



качественному изменению. Уравнение, отвечающее этим требованиям предложено в работе [3] и имеет следующий вид

$$\Delta h = \Delta h_{np} [1 - \exp - (\lambda q R)], \quad (1.18)$$

где,  $\Delta h_{np}$  – предельный коэффициент относительной деформации, определяемый по уравнению (1.17);  $\lambda$ -коэффициент, определяемый экспериментально;  $q$  – давление прессования;  $R$  – гидравлический радиус формуемого изделия.

Значение коэффициента  $\lambda$  определяется по экспериментальной кривой. Для этого экспериментальные данные по относительной деформации смеси в процессе прессования приравнивается правой части уравнения (1.17) и это уравнение решается относительно неизвестной  $\lambda$ . При этом удельное давление прессования и гидравлический радиус, входящее в уравнение (1.17), должно соответствовать параметрам смеси и изделия, для которых получено значение относительной деформации во время эксперимента.

Оценка соответствия уравнения (1.17) граничным условиям показывает, что при удельном давлении прессования равном нулю ( $q = 0$ ), относительная деформация смеси тоже равна нулю ( $\Delta h = 0$ ), в случае когда удельное давление прессования стремится бесконечности ( $q \rightarrow \infty$ ), относительная деформация смеси становится равным предельному значению коэффициента относительной деформации ( $\Delta h = \Delta h_{np}$ ).

Таким образом, приведенный обзор известных уравнений прессования показывает, что наиболее точно, зависимость относительной деформации формуемой смеси от удельного давления прессования описывает уравнение (1.18). Причем данное уравнение учитывает не только параметры формуемой смеси, но и параметры формуемого изделия, а именно гидравлический радиус сечения изделия, определяемый как отношение площади прессования к его периметру. Поэтому это уравнение может быть использовано при исследовании процесса полусухого формования строительных изделий.



#### 1.4. Цель и задачи исследований

Обзор способов полусухого формования строительных изделий и прессового оборудования для их производства, а также исследований по изучению физико-механических процессов, протекающие при полусухом формовании изделий показывают, что по сравнению с другими способами полусухой способ формования, с точки зрения получения качественного изделия, является перспективным.

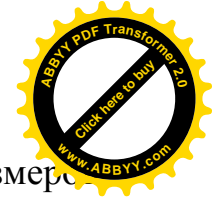
В тоже время низкая эффективность существующего прессового оборудования сдерживает широкое применение полусухого способа формования строительных изделий. Поэтому совершенствование технологии полусухого способа формования и разработка эффективного прессового оборудования для производства строительных изделий полусухим способом формования является актуальной задачей.

В качестве объекта исследования принят процесс экструзивного формования строительных изделий из полусухой смеси. Сущность такого способа формования изделий заключается в том, что отсутствует механическое замыкание полости матрицы и в качестве опорной реакции при формовании очередного изделия используется сила трения между отформованными изделиями на предыдущих циклах и стенками матрицы. Иначе говоря, формование осуществляется по принципу «изделие в изделие».

Целью диссертационной работы является обоснование параметров экструзивного прессового оборудования для производства строительных изделий из полусухой смеси.

Для достижения поставленной цели в работе необходимо решение следующих задач.

1. Анализ условий стабилизации давления прессования при экструзивном прессовании строительных изделий из полусухой смеси.
2. Математическое моделирование процесса экструзивного формования строительных изделий.



3. Исследование влияния параметров смеси и геометрических размеров формуемого изделия на процесс формирования и значение установившегося давление прессования при экструзивном прессовании.

4. Разработка, создание и обоснование параметров экструзивного прессового оборудования для производства строительных изделий из полусухой смеси.

5. Разработка инженерной методики расчета основных параметров экструзивного прессового оборудования для производства строительных изделий из полусухой смеси.

### **1.5. Заключение по главе 1.**

1. Проведенный обзор теоретических и экспериментальных исследований убедительно доказывают преимущество полусухого способа формования строительных изделий перед другими способами их изготовления.

2. Прессовые оборудования, применяемые в промышленности строительных материалов для полусухого формования строительных изделий, не отвечает требованиям, предъявляемым к современным технологическим оборудованям.

3. Существенным резервом повышения эффективности производства строительных изделий полусухим способом формования является использование экструзивной технологии, как формование осуществляется по принципу «изделие в изделии».

4. Принципиальная новизна экструзивной технологии формования изделий из полусухой смеси и отсутствие работ, посвященных исследованию такой технологии формования строительных изделий, требует в первую очередь исследования физико-механических процессов, протекающих при экструзивном формовании изделий из полусухой смеси и по результатам этих исследований обоснование параметров экструзивного прессового оборудования для производства строительных изделий.

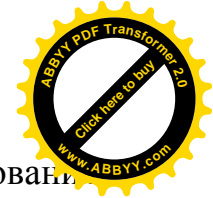


## **ГЛАВА 2. ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ, ПРОТЕКАЮЩИХ ПРИ ЭКСТРУЗИОННОМ ФОРМОВАНИИ СТРОИТЕЛЬНОГО КИРПИЧА**

### **2.1. Экструзивное формование изделий из полусухой смеси**

Экструзивное формование строительных материалов является принципиально новым направлением полусухого способа производства изделий. На сегодняшний день работы по разработке и созданию экструзивного прессового оборудования для производства строительных изделий полусухим способом формования выполнены лишь на уровне разработки принципиальных схем для получения авторских свидетельств или патента на изобретение. Что касается воплощения этих схем в реальные конструкции, то работы в этом направлении находятся на уровне экспериментальных образцов для проверки реализуемости такого способа полусухого формования изделий [11, 12, 13, 14]. В отношении теоретических положений, описывающих физико-механические процессы, протекающих при экструзивном формовании строительных изделий из полусухой смеси, можно сказать, что таких работ вообще отсутствуют или имеются лишь работы, в которых были попытки к математическому описанию процессов, протекающих при таком способе формования изделий [3].

Обзор патентной информации по экструзивному формованию строительных изделий из полусухой смеси показывает, что они могут быть классифицированы по направлению движения прессующего пуансона на вертикальные [13, 14] и горизонтальные [11, 12]. Вертикальные экструзивные прессовые оборудования, свою очередь, подразделяются на прессовое оборудование с перемещением прессующего пуансона во время прессования изделия вверх [14] и с перемещением прессующего пуансона во время прессования изделия вниз [13].



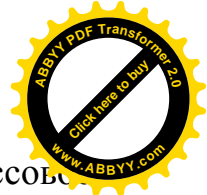
Для проверки реализуемости экструзивного способа формования строительных изделий из полусухой смеси разработано и создано горизонтальное экструзивное прессовое оборудование для производства строительных изделий полусухим способом формования. На рис. 2.1 представлена принципиальная схема такого экструзивного прессового оборудования. Горизонтальное экструзивное прессовое оборудование включает в себя, установленную на раме 1, горизонтальную матрицу 2 с пустотообразователями 3, бункер 4 и прессующий пуансон 5. Бункер 4 с матрицей 2 соединен шарнирно с возможностью опрокидывания в сторону прессующего пуансона 5. Пустотообразователи 3 установлены коаксиально внутри матрицы 2 и закреплены к кронштейну 6, который в свою очередь жестко соединен с тягами 7. Для регулирования значения установившегося давления прессования матрица 2 снабжена сменной дополнительной матрицей 8 с муштуком 9 и приемной площадкой 10 для готовых изделий 11. Пуансон 5 приводится в движение прессующим гидроцилиндром 12, ход штока которого регулируются концевыми выключателями 13 и щупом 14. Заслонки 15 перемещаются в направляющих 16, а управление осуществляется при помощи рычажного механизма состоящего из тяг 17, соединенных шарнирно с одной стороны с заслонками 15, а с другой - рычагами 18. Вторые концы рычагов 18 соединены с тягами 19, которые в свою очередь связаны с кривошипом 20. Привод механизма управления заслонками осуществляется гидроцилиндром 21. На схеме рис. 2.1 в проекции вид сверху бункер 4 условно не показан.

В качестве привода пресса используется гидравлическая насосная станция 22, включающая в себя электродвигатель 23 с гидронасосом 24, электроуправляемые гидрораспределители 25 и 26, предохранительный клапан 27, бак 28 с рабочей жидкостью и систему трубопроводов с манометром 29.

Для транспортировки отформованных изделий горизонтальный экструзивный пресс может быть снабжен ленточным конвейером 30.



Рассматриваемое горизонтальное экструзивное прессовое  
оборудование работает следующим образом.





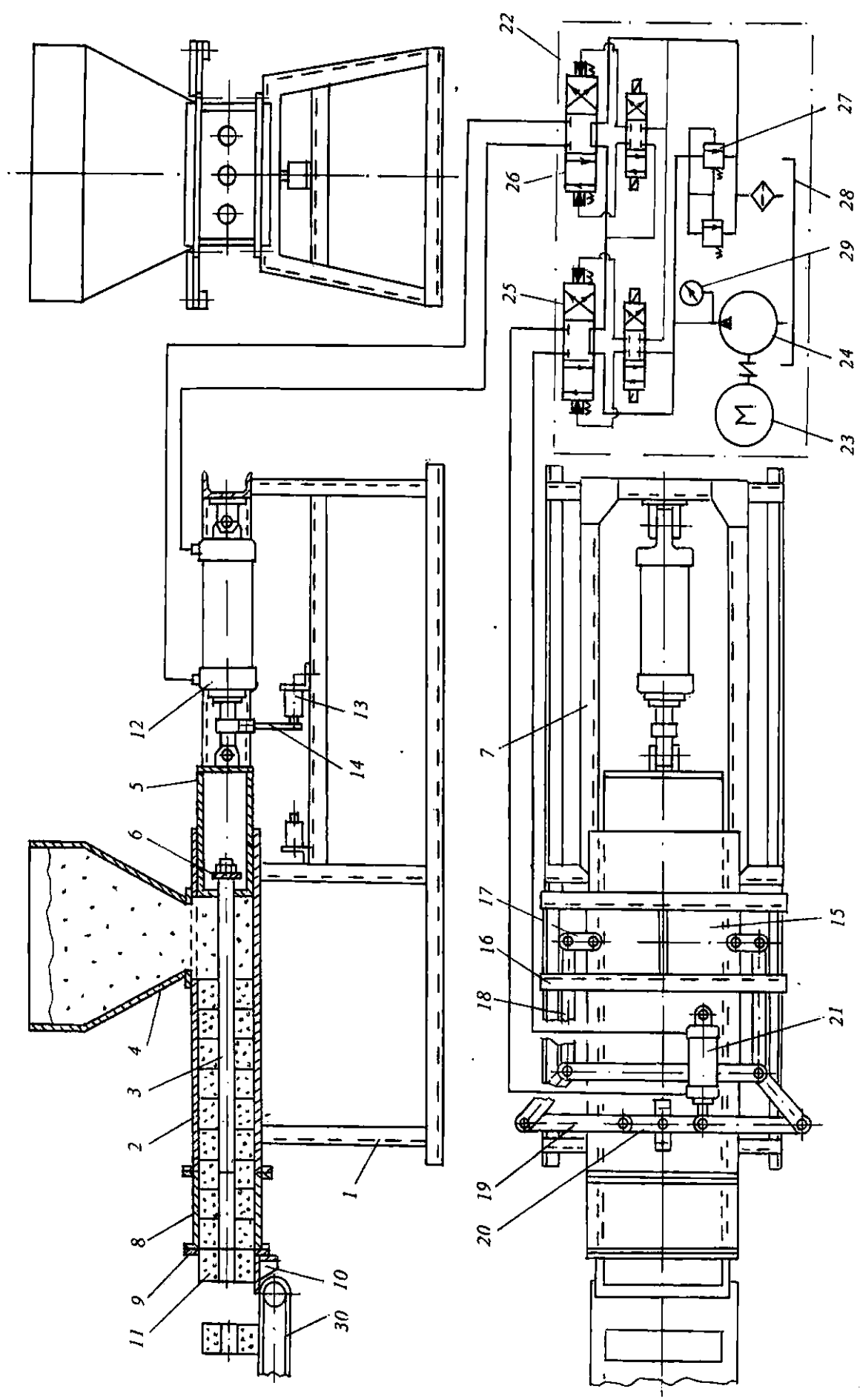


Рисунок 2.1. Принципиальная схема горизонтального экструзивного прессового оборудования



Перед началом работы прессового оборудования бункер 4 заполняется подготовленной смесью, а в матрицу 2 устанавливается контрпуансон (на рис. 2.1 контрпуансон не показан) таким образом, чтобы его торец совпадал с левой кромкой выходного отверстия бункера 4. При этом контрпуансон на первом цикле работы прессового оборудования имеет возможность, под действием усилия прессования, перемещаться на расстояние равное высоте формуемого изделия по оси прессования, а затем упирается в фиксатор, который ограничивает перемещение контрпуансона до следующего цикла работы.

При включении гидрораспределителя 25 и выдвижение штока прессующего гидроцилиндра 21 приводит к открытию заслонок 15 и полость матрицы 2 сообщается с выходным отверстием бункера 4. Смесью из бункера 4 под действием силы тяжести заполняет полость матрицы 2. Переключение гидрораспределителя 25 приводит к втягиванию штока гидроцилиндра 21, что в свою очередь, через систему рычагов приводит к закрытию заслонок 15.

С включением гидрораспределителя 26 рабочая жидкость подается в поршневую полость прессующего гидроцилиндра 12, в результате которого пуансона 5 перемещается и происходит прессование смеси в матрице 2. По мере повышения сопротивления деформации смеси и усилия прессования, смесь в матрице 2 совместно с контрпуансоном перемещается до упора, после которого происходит окончательное прессование формуемого изделия. При этом расстояние между пуансоном 5 и контрпуансоном во время загрузки матрицы 2 смесью подбирается таким образом, чтобы в конце процесса прессования, т.е. при достижении пуансоном 5 крайнего левого положения, удельное давление прессования соответствовало требуемой по технологии прессования изделия из полусухой смеси. Концевые выключатели 13 устанавливаются таким образом, чтобы расстояние между крайними правым и левым положением пуансона 5 обеспечивала требуемую



глубину загрузки смеси в матрицу 2 и удельное давление в конце процесса прессования изделия.

В конце процесса прессования изделия на первом цикле усилие прессования воспринимается контрпуансоном и частично силой трения между отформованным изделием и стенками матрицы 2. После формирования первого изделия и возврата пуансона 5 в исходное положение, контрпуансон перемещается к выходному отверстию матрицы 2 на расстояние, равное высоте формуемого изделия по оси прессования и фиксируется в этом положении.

Затем цикл повторяется, т.е. заслонки 15 открываются и далее осуществляется процесс загрузки смеси в матрицу 2 для формирования изделия на втором цикле. С закрытием заслонок 15 начинается процесс прессования второго изделия. При этом особенность прессования второго и последующих изделий до полного выхода контрпуансона из полости матрицы 2 заключается в том, что процесс прессования изделий происходит в два этапа. На первом этапе смесь в матрице 2 сжимается, до тех пор, пока сила трения между отформованным изделием на первом цикле и стенками матрицы 2 будут равны между собой. Далее изделие, отформованное на первом цикле и формуемое изделие, перемещаются в матрице 2 до контрпуансона и с момента их касания друг с другом, происходит окончательное прессование второго изделия. На этом цикле усилие прессования воспринимается частично контрпуансоном и частично силой трения между отформованными изделиями и стенками матрицы 2. Причем удельный вес усилия прессования, воспринимаемого силой трения между отформованными изделиями и стенками матрицы 2, с каждым циклом будет возрастать по сравнению с усилием прессования, воспринимаемым контрпуансоном.

При формировании последующих циклов и выхода контрпуансона из матрицы 2, усилие прессования будет полностью восприниматься силой трения между отформованными изделиями, находящимися внутри матрицы



2. Удельное давление прессования изделий при установившемся режиме будет определяться, величиной суммарной силы трения между отформованными изделиями, находящимися внутри матрицы 2, которое в свою очередь определяется параметрами смеси и геометрическими размерами формуемого изделия и длиной матрицы 2. При фиксированных параметрах смеси и формуемого изделия регулирование значением удельного давления прессования достигается путем увеличения или уменьшения длины матрицы 2, сменными матрицами 8.

Давления прессования достигает максимальной величины в момент страгивания отформованных изделий в матрице, и в этот момент давление прессования переходит в давление выпрессовки изделий из матрицы 2.

В установившемся режиме работы прессового оборудования давление прессования будет складываться из давления, необходимого для выпрессовки в напряженном состоянии изделия, отформованного последним, и давления, необходимого для выпрессовки всех изделий, находящихся в матрице 2, с учетом коэффициента снижения бокового распора изделий в матрице 2 по мере их перемещения.

В конце работы прессового оборудования и выработки смеси в бункере 4, последний опрокидывается в сторону прессующего пуансона 5, так как он соединен с матрицей 2 шарнирно. Затем при открытых заслонках 15 путем установки в полость матрицы 2 специальных деревянных изделий с прорезями для пустотообразователей 3 и периодического включения прессующего гидроцилиндра 12 пуансона 5 выталкивает все отформованные, но еще находящиеся в полости матрицы 2, изделия. Таким образом, экструзивное прессовое оборудование подготавливается для последующей работы.

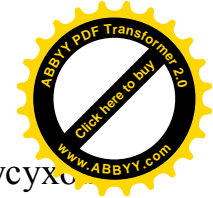
На рис.2.2 представлен общий вид горизонтального экспериментального лабораторного образца экструзивного прессового оборудования. Лабораторные испытания созданного образца экструзивного прессового оборудования для производства строительных изделий показал

реализуемость экструзивного способа формования строительных изделий из полусухой смеси. Недостатком такого экструзивного прессового оборудования является сложность регулирования глубины загрузки смеси в матрицу и обеспечение одинаковой плотности отформованного изделия по всему его объему. Это связано с тем, что, при горизонтальном расположении матрицы ось прессования направление засыпки смеси во время загрузки смеси в матрицу оказываются перпендикулярными, в результате этого и из-за того, что смесь не имеет возможность течь, отформованное изделие получается не одинаковой плотности по всему его объему. Кроме этого, на неодинаковую плотность по объему отформованного изделия влияет односторонность процесса прессования при экструзивном формовании изделия.



Рис. 2.2. Общий вид горизонтального экструзивного прессового оборудования

Аналогично горизонтальному экструзивному прессовому оборудованию для производства строительных изделий для проверки



реализуемости экструзивного способа формования изделий из полусухой смеси разработано и создано роторное экструзивное прессовое оборудование для производства топливных брикетов. Принципиальная схема роторного экструзивного прессового оборудования для производства топливных брикетов показано на рис. 2.3. Пресс состоит из ротора 1, установленного горизонтально на оси неподвижно укрепленного на раме 2 пресса, кривошипно-ползунного механизма 3, бункера 4, закрепленного над ротором 1 на опорах 5, звездочки 6, жестко закрепленной на валу ротора 1, звездочки привода 7, соединенной со звездочкой 6 ротора 1 при помощи цепной передачи 8.

Ротор 1 включает в себя верхнюю 9 и нижнюю 10 плиты, между которыми радиально установлены матрицы 11 с пуансонами 12, снабженными шатунами 13. Последние одними концами шарнирно соединены с втулкой 14, жестко укрепленной на кривошипе кривошипно-ползунного механизма 3, а другими – с пуансонами 12. К нижней части вала ротора жестко соединена звездочка 6, а загрузочные отверстия матрицы 11 совмещены с загрузочными отверстиями на верхней плите 9. Верхняя плита 9 матриц 11 и нижняя плита 10 жестко соединены между собой и образует капкас ротора 1. Роторный экструзивный пресс работает следующим образом.

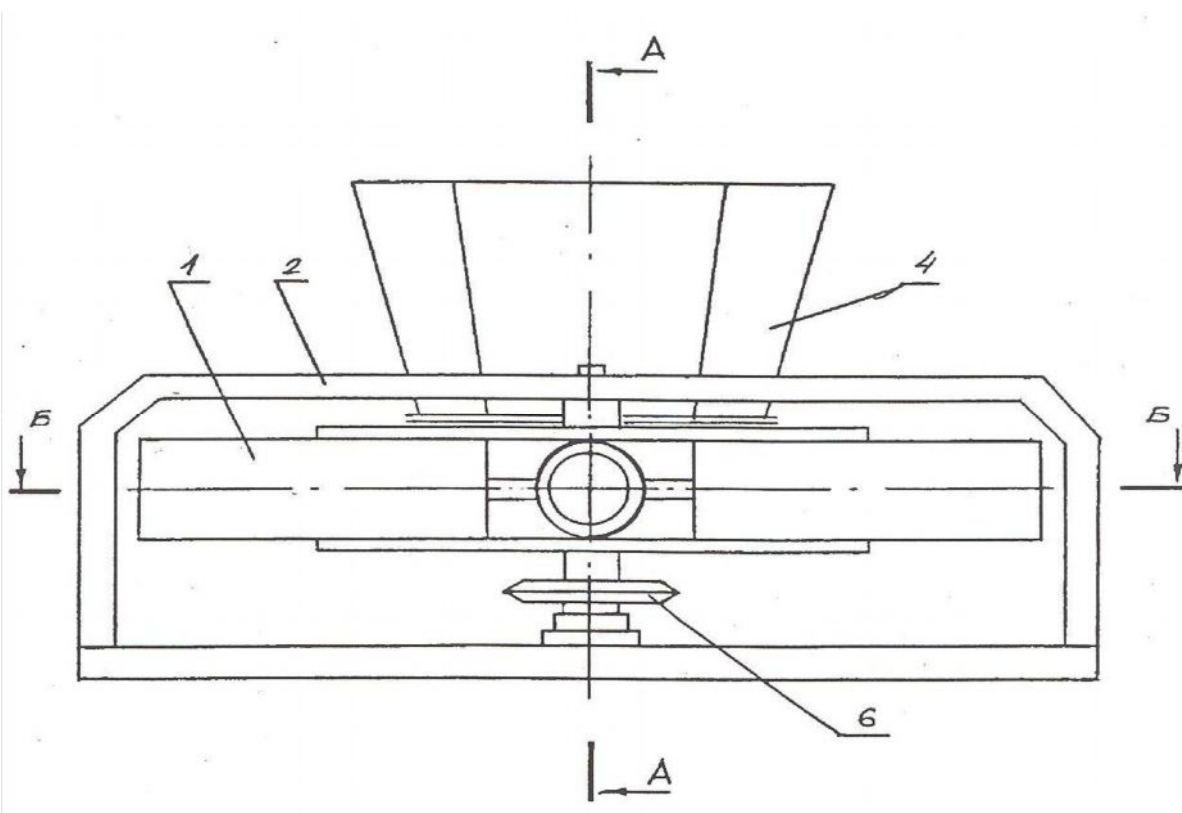
При включении привода вращение через звездочку 7 цепную передачу 8 и звездочку 6 передается ротору 1. Вращение ротора 1 приводит к периодическому совпадению загрузочных отверстий матриц 11 и разгрузочного отверстия бункера 4. В этот промежуток времени смесь из бункера 4 заполняет поочередно полости матриц 11. При вращении ротора 1 под действием кривошипно-ползунного механизма пуансоны 12 совершают возвратно-поступательные движение в матрицах 11. Через несколько оборотов ротора 1 в матрицах 11 накапливается достаточный объем смеси и начинается процесс прессования смеси. При достижении требуемого удельного давления прессования, заслонки на выходных отверстиях матриц 11 открываются, и пресс затем работает без них. Опорной реакцией в



процессе прессования смеси без заслонок служит суммарная сила бокового трения между стенками матриц 11 и отформованными изделиями на предыдущих циклах.

На рис. 2.4 представлен общий вид роторного экструзивного прессового оборудования для производства топливных брикетов. Испытания созданного прессового оборудования показали реализуемость экструзивного способа формования топливных брикетов из полусухой смеси и работоспособность созданного экструзивного прессового оборудования. Установлено, что удельное давление прессования при экструзивном прессовании изделия из полусухой смеси определяется параметрами формуемой смеси и длиной матрицы. К недостаткам роторного экструзивного прессового оборудования следует отнести сложность обеспечения одинаковой загрузки смеси по объему в процессе работы прессового оборудования, в результате которого отформованные изделия получается разной высоты по оси прессования

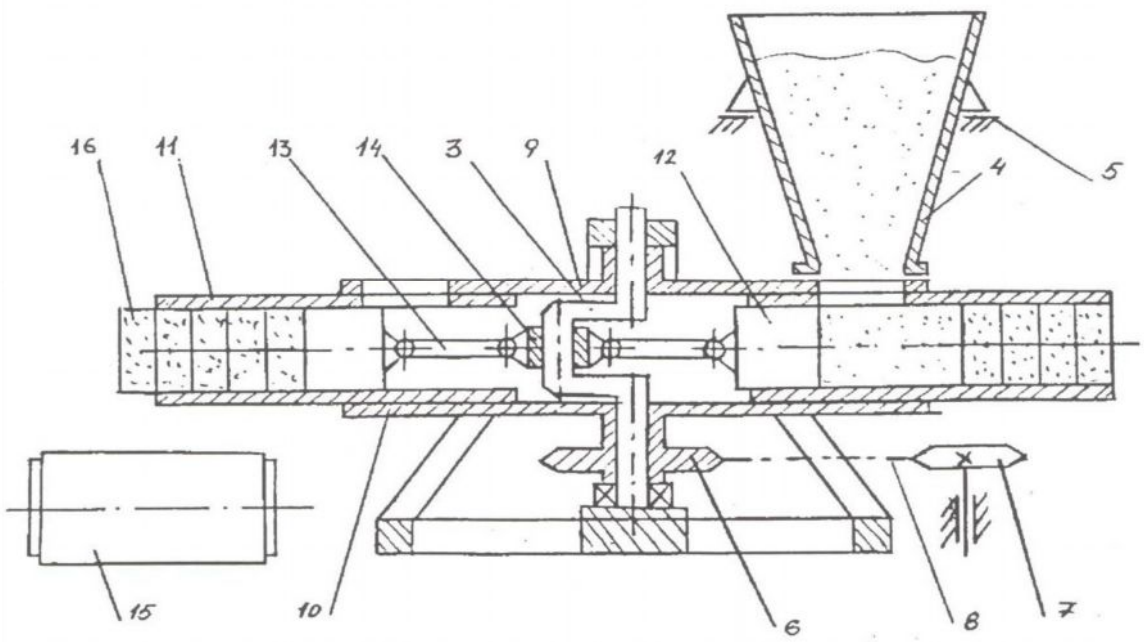
. a)





б)

A - A



в)

Б - Б

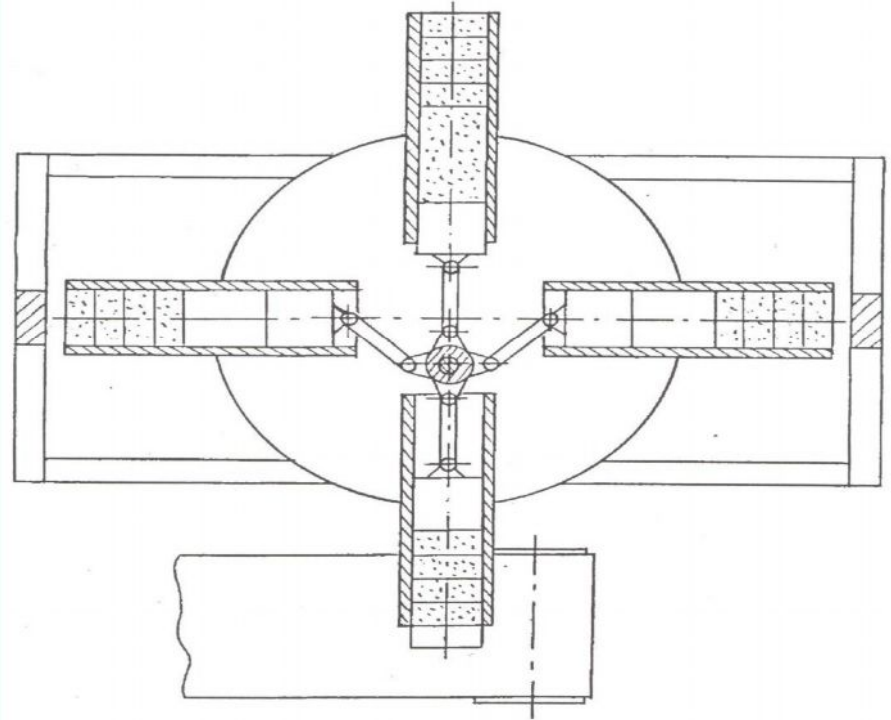


Рис. 2.3. Принципиальная схема роторного экструзивного прессового оборудования для производства топливных брикетов

На рис. 2.4 представлен общий вид роторного экструзивного прессового оборудования. То обстоятельство, что размер изделия по оси их прессования получается не одинаковой при формовании на роторном экструзивном прессе, не имеет принципиального значения при формовании топливных брикетов.



Рис. 2.4. Общий вид роторного экструзивного прессового оборудования

В тоже время, этот вопрос приобретает принципиальное значение при формовании строительных изделий, так как требования к разбросу их размеров намного жестче, чем у топливных брикетов. В связи с этим с целью устранения вышеотмеченного недостатка были проанализированы различные схемы и разработано вертикальное экструзивное прессовое оборудование с движением прессующего пуансона во время формования изделия вниз и с движением прессующего пуансона во время формования изделия вверх [13,14].

На рис. 2.5, а) представлена принципиальная схема вертикального экструзивного прессового оборудования с движением прессующего пуансона во время процесса формования изделия вниз, а на рис. 2.5, б) изображен его общий вид.

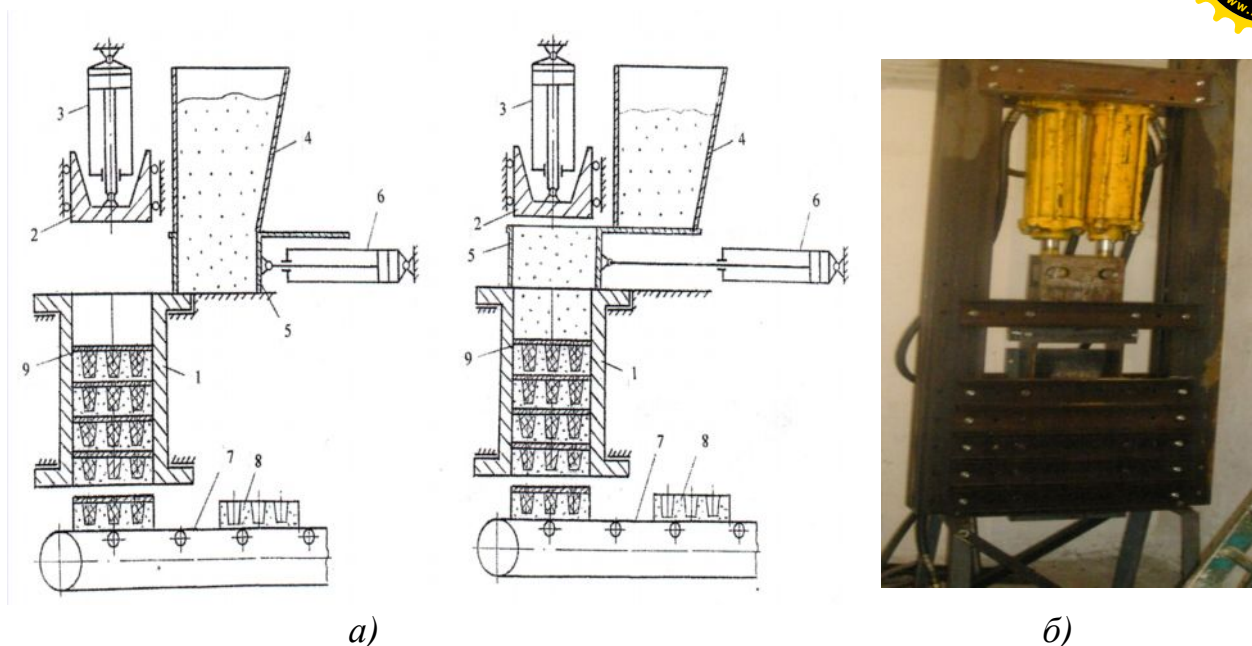


Рис. 2.5. Принципиальная схема и общий вид экструзивного прессового оборудования с движением прессующего пуансона во время формирования изделия вниз

Экструзивное прессовое оборудование с движением прессующего пуансона во время формирования изделия вниз состоит из неподвижно закрепленной матрицы 1, прессующего пуансона с приводным гидроцилиндром 3, бункера 4 с кареткой 5 и приводным гидроцилиндром 6, и транспортера 7 для приема отформованных изделий 8. Для исключения вогнутости и выпуклости между торцами формируемых изделий в матрице 1 устанавливаются пластины 9 с закрепленными к нему упругими пустотообразователями. Кроме этого, экструзивное прессовое оборудование включает в себя контрпуансон (на схеме не показано) представляющее собой по форме и размерам одинаковое с формой и размерами формируемого изделия. Контрпуансон в начале работы прессового оборудования устанавливается внутри матрицы 1 на глубине, равной глубине загрузки смеси. При этом конструкция контрпуансона выполнена таким образом, чтобы он при перемещении внутри матрицы 1 создавал определенное сопротивление, под действием которого происходило уплотнение первых



изделий в начале работы прессового оборудования, иначе говоря, выполнял функцию опорной поверхности (реакции).

Экструзивное прессовое оборудование работает следующим образом. В начале работы прессового оборудования заранее подготовленная смесь загружается в бункер 4, контрпуансон устанавливается в полости матрицы 1 на глубине, глубине загрузки смеси, при этом каретка 5 находится в положении, изображенном на рис. 2.5.

С включением гидроцилиндра 6 каретка 5 со смесью, перемещаясь к матрице 1, заполняет его смесью на глубину установки контрпуансона. После загрузки матрицы 1 смесью каретка 5 возвращается в исходное положение, а на поверхность смеси в матрице 1 устанавливается пластина 9 с упругими пустотообразователями, направленными вниз.

Процесс прессования первого изделия в начале работы экструзивного прессового оборудования начинается с момента соприкосновения прессующего пуансона 2 с пластиной 9. При этом по мере уплотнения смеси в матрице 1 за счет бокового распора смеси сила трения между формируемым изделием и стенками матрицы 1 будет увеличиваться. В результате этого соответственно будет возрастать и опорная реакция сопротивления перемещению отформованных изделий в полости матрицы, которая определяется как сумма силы трения между формируемым изделием и стенками матрицы и сопротивлением контрпуансона.

По мере увеличения количества отформованных изделий в матрице 1 будет повышаться и суммарная сила трения между отформованными изделиями и стенками матрицы 1. Это в свою очередь приведет к повышению давления прессования изделия. Стабилизация давления прессования в начале работы прессового оборудования произойдет тогда, когда величина повышения давления прессования в результате формирования очередного изделия будет равна величине снижения давления прессования в результате перемещения изделий в полости матрицы 1 и выхода очередного отформованного изделия из него.



Отформованные изделия при выходе из полости матрицы 1 попадают на транспортер 7, а затем транспортируются к месту складирования, при этом перегородки 9 с упругими пустотообразователями легко снимаются с готовых изделий, так как при выходе из полости матрицы 1 за счет снятия давления прессования, упругие пустотообразователи уменьшаются в диаметре. После установившегося режима работы прессового оборудования необходимость в контрпуансоне отпадает, и дальнейшая работа осуществляется без него.

Таким образом, разработанное экструзивное прессовое оборудование позволяет получить изделия, в которых устраняется один из основных недостатков, присущих изделиям, отформованным на экструзивном прессовом оборудовании – вогнутость и выпуклость торцов отформованных изделий по оси прессования.

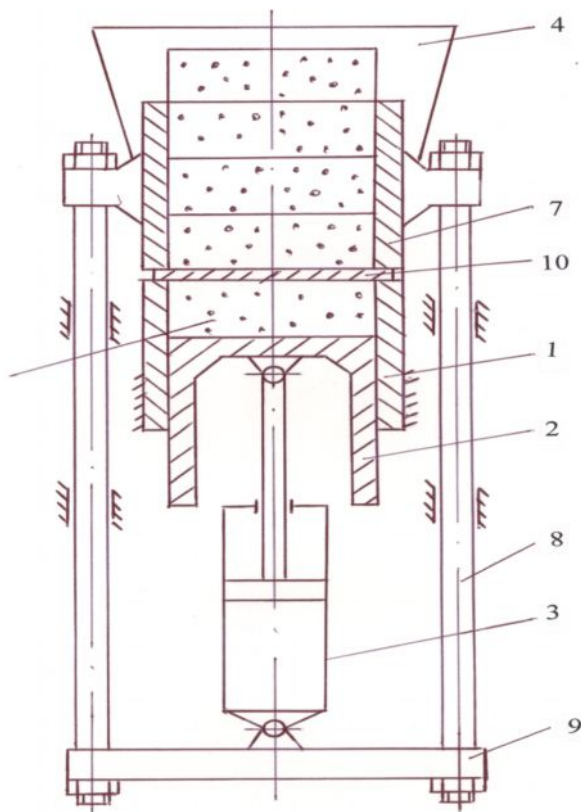


Рис. 2.6. Принципиальная схема экструзивного прессового оборудования с движением прессующего пуансона во время формования изделия вверх



На основе анализа процесса экструзивного формования строительных изделий из полусухой смеси разработана принципиальная схема экструзивного прессового оборудования, в котором проблема вогнутости и выпуклости решена без использования пластин, устанавливающих между изделиями в матрице [14]. Принципиальная схема такого экструзивного прессового оборудования представлена на рис. 2.6.

Лабораторные испытания всех разработанных и созданных экспериментальных образцов экструзивных прессовых оборудований показывают их работоспособность и реализуемость заложенных в них принципов, поэтому необходимо провести теоретические исследования по обоснованию их параметров.

## **2.2. Математическое моделирование процесса экструзивного формования изделия с несквозным отверстием**

Особенность экструзивного формования строительного кирпича из полусухой смеси заключается в том, что в качестве опорной реакции, при формовании очередного изделия, используется сила трения между изделиями, отформованными на предыдущих циклах и стенками матрицы. Кроме того, при таком формовании строительного кирпича давление прессования будет равно давлению, необходимого для перемещения всех изделий, которые находятся в матрице. Это связано с тем, что в момент страгивания и перемещения изделий, находящихся в матрице, давление прессования переходит в давление выпрессовки отформованных изделий, но еще находящихся в полости матрицы.

В начале работы экструзивного прессового оборудования, до установившегося режима, давление прессования повышается постепенно и при достижении определенного значения происходит его стабилизация. Значение давления прессования в установившемся режиме работы прессового оборудования определяется параметрами смеси,



геометрическими размерами формуемого изделия и длиной матрицы. Для оценки влияния этих параметров на установившееся значение давления прессования необходимо разработать расчетную схему и математическую модель процесса экструзивного формования изделий, позволяющую исследовать процесс стабилизации давления прессования с момента начала работы прессового оборудования до установившегося его значения.

В процессе математического моделирования сумма сил трения между отформованными изделиями и стенками матрицы может быть описана, начиная со стороны прессующего пуансона, так и со стороны выходного отверстия матрицы. При этом при фиксированных параметрах формуемой смеси и геометрических размеров матрицы, результаты расчета суммарной силы трения между отформованными изделиями и стенками матрицы для математических моделей, описанных начиная как со стороны прессующего пуансона, так и со стороны выходного отверстия матрицы должны быть одинаковыми. Если суммарная сила трения в обоих случаях моделирования процесса экструзивного формования изделий будет одинаковым, следовательно, и расчетное значение установившегося значения давления прессования тоже будет одинаковым.

На рис. 2.7 представлена расчетная схема процесса экструзивного формования строительного кирпича. Как видно из расчетной схемы экструзивное прессование включает в себя вертикально закрепленную матрицу 1, прессующий пуансон 2, пластины 3 с упругими пустотообразователями 4 и отформованные изделия 5.

Параметрами, определяющими величину установившегося значения давления прессования, при экструзивном формовании строительного кирпича являются длина матрицы, геометрические размеры формуемого изделия и параметры смеси. В свою очередь, именно давление прессования, оказывает определяющее влияние на качество формуемых изделий.

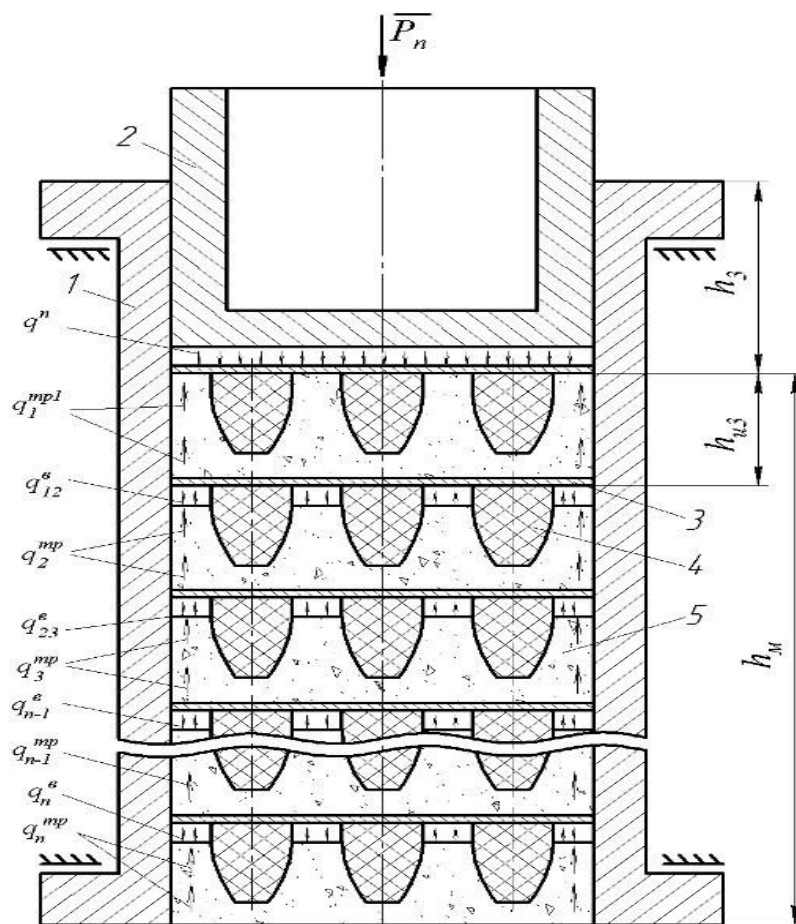
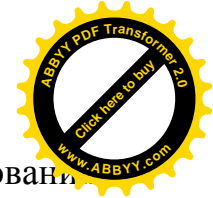


Рис. 2.7. Расчетная схема процесса экструзивного формования изделий с несквозным отверстием

Для математического описания процесса формирования давления прессования и оценки влияния параметров смеси, геометрических размеров формируемого изделия и длины матрицы на величину установившегося значения давления прессования, рассмотрим баланс сил, действующих на формируемые изделия в момент их страгивания и начала перемещения в матрице. Именно в этот момент, в момент страгивания изделий в матрице, давление прессования достигает максимальной величины и переходит в давление выпрессовки. Максимальное значение давления прессования складывается из давления, необходимого для выпрессовки в напряженном состоянии изделия, отформованного последним, и давления, необходимого для выпрессовки всех изделий, находящихся в матрице, с учетом снижения бокового распора изделий в матрице по мере их перемещения.





Если считать, что давление прессования при экструзивном формовании изделий единичным, т.е. давление прессование равно единице, то давление прессования, затрачиваемое на преодоление суммарной силы трения всех изделий об стенки матрицы, тоже будет равным единице. Следовательно, математическая модель процесса стабилизации давления прессования при экструзивном формовании изделий должна описывать процесс формирования единичного давления прессования за счет суммарной силы трения между отформованными изделиями и стенками матрицы. Иначе говоря, математическая модель процесса стабилизации давления прессования должна описывать распределение единичного давления прессования на составляющие суммарной силы трения отформованных изделий об стенки матрицы.

В соответствии с теоретическими положениями, изложенными в § 1.3, уравнения, описывающие давление, затрачиваемое на уплотнение смеси и давление, затрачиваемое на преодоление силы трения между формуемым изделием и стенками матрицы, в соответствии с исследованиями [3] можно записать в следующем виде

$$q_{1,2}^{\kappa} = \frac{(2R - h_{uz} k_{\bar{\sigma}} \mu)}{2R + h_{uz} k_{\bar{\sigma}} \mu}, \quad (2.1)$$

$$q_1^{\text{TP}} = \frac{2 h_{uz} k_{\bar{\sigma}} \mu}{2R + h_{uz} k_{\bar{\sigma}} \mu}. \quad (2.2)$$

$R$  – гидравлический радиус поверхности прессования формуемого изделия;  $h_{uz}$  – высота формуемого изделия;  $k_{\bar{\sigma}}$  – коэффициент бокового распора;  $\mu$  – коэффициент трения смеси о стенки матрицы.

В соответствии с расчетной схемой, представленной на рис. 2.6 и уравнениями (2.1), (2.2) баланс давлений в момент страгивания и начала перемещения отформованных изделий в матрице и перехода давления прессования в давление выпрессовки можно записать в виде

$$1 = q_1^{\text{TP}} + q_2^{\text{TP}} + q_3^{\text{TP}} + q_4^{\text{TP}} + \dots + q_{n-1}^{\text{TP}} + q_n^{\text{TP}} \quad (2.3)$$



где,  $q_1^{\text{TP}}, q_2^{\text{TP}}, q_3^{\text{TP}}, q_4^{\text{TP}}$  и  $q_{n-1}^{\text{TP}}, q_n^{\text{TP}}$  - соответственно давления, затрачиваемые на преодоление силы трения между первым изделием в матрице со стороны прессующего пуансона и стенкой матрицы и т.д.;  $n$  – количество изделий в матрице.

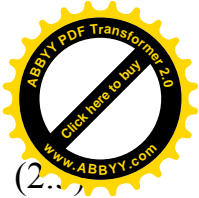
Давление, затрачиваемое на преодоление силы трения между первым изделием со стороны прессующего пуансона и стенками матрицы можно определить, используя уравнение (2.2).

Для определения значения давления, затрачиваемого на преодоление силы трения между вторым изделием и стенками матрицы, примем следующее допущение. В соответствие с результатами экспериментальных исследований соотношение между давлением, затрачиваемого на уплотнение формуемой смеси и давлением, затрачиваемого преодоление силы трения между изделием и стенками матрицы, не зависимо от их абсолютного значения, сохраняется до выхода отформованных изделий из матрицы. Следовательно, давление, затрачиваемое на преодоление силы трения между вторым изделием и стенками матрицы можно определить как произведение давления между первым и вторым изделиями на удельный вес давления, затрачиваемого на преодоление силы трения между первым изделием и стенками матрицы.

$$q_2^{\text{TP}} = q_{1,2}^{\kappa} q_1^{\text{TP}}, \quad (2.4)$$

где,  $q_2^{\text{TP}}$  - давление, необходимое на преодоление силы трения между вторым изделием со стороны прессующего пуансона и стенками матрицы;  $q_{1,2}^{\kappa}$  - давление между первым и вторым изделиями со стороны прессующего пуансона;  $q_1^{\text{TP}}$  - удельный вес единичного давления прессования, которое затрачивается на преодоление силы трения между первым изделием и стенками матрицы.

Для удобства использования индексов и степени введем обозначение, что  $q_1^{\text{TP}} = \beta$ . В этом случае уравнение (2.4), примет вид



$$q_2^{\text{TP}} = q_{1,2}^{\kappa} \beta, \quad (2.5)$$

Давление между вторым и третьим изделиями можно определить как разницу между давлением между первым и вторым изделиями и трением между вторым изделием и стенками матрицы

$$q_{23}^{\kappa} = q_{12}^{\kappa} - q_{12}^{\kappa} \beta = q_{12}^{\kappa} (1 - \beta), \quad (2.6)$$

В тоже время давление между вторым и третьим изделиями можно определить, используя уравнение (2.1).

$$q_{23}^{\kappa} = \frac{q_{12}^{\kappa} (2R - h_{uz} k_{\sigma} \mu)}{2R + h_{uz} k_{\sigma} \mu}, \quad (2.7)$$

Проведя простейшие преобразования, можно убедиться, что уравнения (2.6) и (2.7) равны между собой, и при подстановке значения параметров смеси и формуемого изделия дают одинаковые результаты, а именно

$$q_{23}^{\kappa} = \frac{(2R - h_{uz} k_{\sigma} \mu)^2}{(2R + h_{uz} k_{\sigma} \mu)^2} = (q_{12}^{\kappa})^2 \quad (2.8)$$

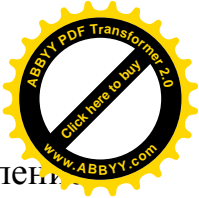
Давление, необходимое для преодоления силы трения между третьим изделием и стенками матрицы, определяется как произведение давления между вторым и третьим изделиями на удельный вес единичного давления прессования, которое затрачивается на преодоление силы трения между первым изделием и стенками матрицы.

$$q_3^{\text{TP}} = (q_{12}^{\kappa})^2 \beta \quad (2.9)$$

Давление между третьим и четвертым изделиями и давление, необходимое для преодоления силы трения между четвертым изделием и стенками матрицы будет определяться аналогично, предыдущим случаям.

$$q_{34}^{\kappa} = (q_{12}^{\kappa})^3 \quad (2.10)$$

$$q_4^{\kappa} = (q_{12}^{\kappa})^3 \beta \quad (2.11)$$



Давление между  $(n-1)^{\text{БМ}}$  и  $n^{\text{БМ}}$  изделиями, или иначе говоря, давление между последним и предпоследним изделиями можно определить следующим выражением

$$q_{(n,-1),n}^{\kappa} = (q_{12}^{\kappa})^{n-1} \quad (2.12)$$

Уравнения для определения значения давлений, необходимых для преодоления силы трения между стенками матрицы и  $(n-1)^{\text{БМ}}$  изделием, а также между стенками матрицы и  $n^{\text{БМ}}$  изделием можно записать в следующем виде.

$$q_{n-1}^{\text{TP}} = (q_{12}^{\kappa})^{n-1} \beta \quad (2.13)$$

$$q_{\text{II}}^{\text{TP}} = \lambda_{\text{H}} \quad (2.14)$$

где,  $\lambda_{\text{H}}$  – давление, необходимое для выпрессовки  $n^{\text{зо}}$  изделия из полости матрицы, значение которого определяется экспериментально.

Подставив уравнения (2.1), (2.5), (2.8), (2.13) и (2.14) в уравнение (2.3) получим

$$1 = \beta + q_{12}^{\text{TP}} \beta + (q_{12}^{\kappa})^2 \beta + (q_{12}^{\kappa})^3 \beta + \dots + (q_{12}^{\kappa})^{n-2} \beta + (q_{12}^{\kappa})^{n-1} \beta + \lambda_{\text{H}} \quad (2.15)$$

Для решения уравнения (2.15) проведем простейшие преобразования и запишем в виде

$$1 = \beta (1 + q_{12}^{\text{TP}} + (q_{12}^{\kappa})^2 + (q_{12}^{\kappa})^3 + \dots + (q_{12}^{\kappa})^{n-2} \beta + (q_{12}^{\kappa})^{n-1} \beta) + \lambda_{\text{H}} \quad (2.16)$$

где,  $1 + q_{12}^{\text{TP}} + (q_{12}^{\kappa})^2 + (q_{12}^{\kappa})^3 + \dots + (q_{12}^{\kappa})^{n-2} + (q_{12}^{\kappa})^{n-1}$  геометрическая прогрессия.

Следовательно, подставив в уравнение (2.16) формулу решения геометрической прогрессии получим

$$1 = \beta \frac{(q_{12}^{\kappa})^{n-1}}{q_{12}^{\kappa} - 1} + \lambda_{\text{H}} \quad (2.17)$$

Решив уравнение (2.17) относительно  $q_{12}^{\kappa}$  получим



$$q_{12}^k = \frac{(1 - \lambda_n)(q_{12}^k - 1)}{\beta} + 1 \quad (2.18)$$

Подставив значение  $q_{12}^k$  и  $\beta$  в уравнение (2.18) и проведя, соответствующие преобразования, получим

$$(q_{12}^k)^n = \lambda_n \quad (2.19)$$

Решив полученное уравнение, относительно количества изделий в матрице, получим

$$n = \log_{q_{12}^k} \lambda_n \quad (2.20)$$

Таким образом, между количеством изделий в матрице и долей единичного давления необходимого для выпрессовки изделия, находящегося у выходного отверстия в матрице существует логарифмическая зависимость. При этом разработанная в данном параграфе математическая модель процесса экструзивного формования строительных изделий позволяет исследовать процесс стабилизации давления прессования и определить зависимость основных параметров экструзивного прессового оборудования от параметров смеси и геометрических размеров формуемого изделия.

### **2.3. Математическое моделирование процесса экструзивного формования изделия со сквозными пустотными отверстиями**

В предыдущем параграфе были описаны физико-механические процессы, протекающие при экструзивном формовании изделий с использованием разделительных пластин с упругими элементами, которые устанавливаются между формуемыми изделиями в матрице для образования не сквозных пустотных отверстий. В тоже время при производстве стеновых материалов с точки зрения теплопроводности, возможности качественного обжига и экономии сырья предпочтение отдается изделиям со сквозными



пустотными отверстиями. При этом учитывая, что физико-механические процессы, протекающие при экструзивном формовании изделий с несквозными пустотными отверстиями, существенно отличается от физико-механических процессов, протекающих при экструзивном формовании изделий со сквозными пустотными отверстиями, по последним изделиям требуется проведение отдельных исследований.

В связи с этим рассмотрим физико-механические процессы, протекающие при экструзивном формовании изделий со сквозными пустотными отверстиями. Для математического моделирования физико-механических процессов, протекающих при экструзивном формовании изделий со сквозными пустотными отверстиями, разработана расчетная схема, которая представлена на рис. 2. 8.

В начале работы прессового оборудования полость основной матрицы 1 заполняется смесью, а затем между основным 1 и дополнительным 2 матрицами устанавливается заслонка 3 и включается прессующий механизм. При этом усилие, развиваемое прессующим механизмом через пуансон 4, воздействует на уплотняемую смесь. В результате этого происходит прессование изделия с заданным удельным давлением прессования. После окончания процесса прессования, заслонка 3 убирается и при повторном включении прессующего механизма отформованное изделие выталкивается из основной матрицы 1 в дополнительную матрицу 2. При этом с момента выхода отформованного изделия из основной матрицы 1 сила сопротивления перемещению отформованного изделия в матрице снижается из-за выхода отформованного изделия из зоны контакта с пустотообразователями 5. Далее процесс формования изделий будет продолжаться до тех пор, пока отформованные изделия не заполнят полость дополнительной матрицы 2 и не создадут сопротивление перемещению достаточную для обеспечения опорной реакции при формовании очередного изделия.

В процессе экструзивного формования изделия усилие, приложенное к формируемой смеси не зависимо от его значения, по оси прессования

передается от слоя к слою формируемой смеси за вычетом потери на внешнее трение. Потери на внешнее трение возникает в результате бокового распора формируемой смеси и трения уплотняемой смеси об стенку матрицы.

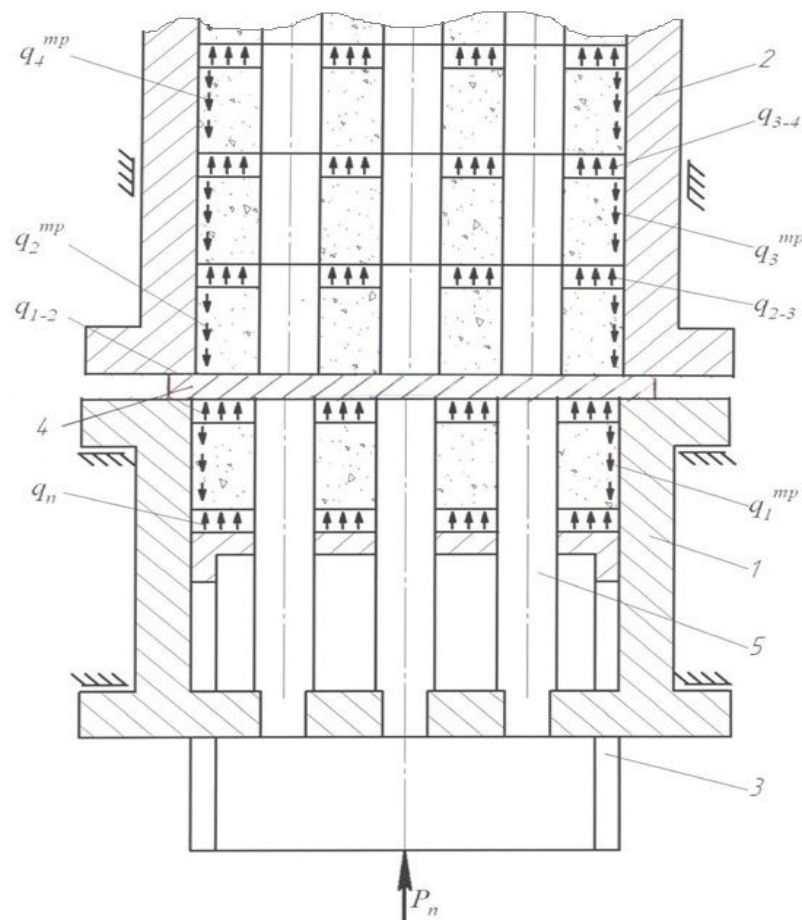


Рис. 2.8. Расчетная схема процесса экструзивного формования первых изделий со сквозным отверстием в начале работы прессового оборудования

В соответствии с расчетной схемой рис. 2.8 баланс сил, действующих на изделие в конце процесса прессования первого изделия можно записать в виде

$$P_n = P_k + P_{тр}, \quad (2.21)$$

где,  $P_n$  – усилие прессование, приложенное к смеси со стороны прессующего пуансона;  $P_k$  – опорная реакция на заслонке;  $P_{тр}$  – суммарная сила трения между уплотняемой смесью и стенками матрицы, а также между уплотняемой смесью и пустотообразователями.



Усилие прессования, приложенное к смеси со стороны прессующего пуансона, определяется давлением прессования и геометрическими размерами формуемого изделия. В свою очередь давление прессования определяется технологическими требованиями, регламентирующее возможность получения изделия требуемыми прочностными характеристиками.

$$P_n = q_n (F_1 - n F_2), \quad (2.22)$$

где,  $q_n$  – давление прессования со стороны прессующего пуансона;  $F_1 = a b$  – площадь поверхности формуемого изделия на которую воздействует усилие прессования;  $a$  и  $b$  - соответственно ширина и длина формуемого изделия;  $n$  – количество пустот круглого сечения на одном изделии;  $F_2 = 0,25 \pi d^2$  – площадь поперечного сечения пустотообразователя;  $d$  – диаметр сечения пустотообразователя.

Усилие, воспринимаемое заслонкой определяется выражением

$$P_k = q_k (F_1 - n F_2), \quad (2.23)$$

где,  $q_k$  - давление воспринимаемое заслонкой.

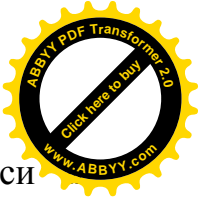
Суммарную силу трения между уплотняемой смесью, стенками матрицы и пустотообразователями, можно определить как произведение давления прессования на середине высоты формуемого изделия на площадь боковой поверхности изделия, контактирующая со стенками матрицы и пустотообразователями, с учетом коэффициентов бокового распора и трения.

$$P_{тр} = 0,5 (q_n + q_k) (F_3 + n F_4) k_{\delta} \mu, \quad (2.24)$$

где,  $F_3$  – площадь боковой поверхности формуемого изделия, контактирующая со стенками матрицы;  $F_4$  - площадь боковой поверхности пустотообразователя, контактирующая с формуемым изделием;  $k_{\delta}$  – коэффициент бокового распора уплотняемой смеси;  $\mu$  - коэффициент трения смеси об стенки матрицы и пустотообразователя.

Подставив уравнения (2.22), (2.23) и (2.24) в уравнение (2.21) проведя соответствующие преобразования, а затем решив относительно  $q_k$  получим





зависимость изменения давления на заслонке от параметров смеси геометрических параметров формуемого изделия

$$q_{1,2} = \frac{q_i [2(F_1 - n F_2) - (F_3 + n F_4) k_a \mu]}{2(F_1 - n F_2) + (F_3 + n F_4) k_a \mu} \quad (2.25)$$

Подставив в уравнение (2.24) уравнение (2.25), получим значение давления прессования, которое затрачивается на преодоление силы трения формуемого изделия об стенки матрицы и пустотообразователей или давление, необходимое для выпрессовки отформованного изделия в напряженном состоянии

$$q_1^{тр} = \frac{2 q_n (F_3 + n F_4) k_o \mu}{2(F_1 - n F_2) + (F_3 + n F_4) k_o \mu} \quad (2.26)$$

Если площади выразить через периметр, гидравлический радиус и высоту формуемого изделия, то уравнения (2.25) и (2.26) примут вид

$$q_{1,2} = \frac{q_n [2R(U_1 - n U_2) - (U_1 + n U_2) h_{уз} k_o \mu]}{2R(U_1 - n U_2) + (U_1 + n U_2) h_{уз} k_o \mu} \quad (2.27)$$

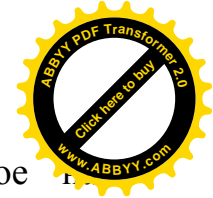
$$q_1^{тр} = \frac{2 q_n (U_1 + n U_2) h_{уз} k_o \mu}{2R(U_1 - n U_2) + (U_1 + n U_2) h_{уз} k_o \mu}, \quad (2.28)$$

где,  $R$  – гидравлический радиус формуемого изделия;  $U_1$  и  $U_2$  – соответственно периметры формуемого изделия и поперечного сечения пустотообразователя;  $h_{уз}$  – высота формуемого изделия.

Если усилие прессование представить в виде единичной силы, то для оценки удельного веса усилия, затрачиваемого на уплотнение смеси и на преодоления силы трения между формуемым изделием и стенками матрицы, уравнение (1) можно записать в виде.

$$1 = \frac{2R(U_1 - n U_2) - (U_1 + n U_2) h_{уз} k_o \mu}{2R(U_1 - n U_2) + (U_1 + n U_2) h_{уз} k_o \mu} + \frac{2(U_1 + n U_2) h_{уз} k_o \mu}{2R(U_1 - n U_2) + (U_1 + n U_2) h_{уз} k_o \mu}. \quad (2.29)$$

Уравнение (2.29) показывает, влияние параметров смеси и геометрических размеров формуемого изделия, на распределение единичной силы прессования на усилие, затрачиваемое на уплотнение смеси (первое



слагаемое правой части уравнения) и на усилие, затрачиваемое на преодоление силы трения (второе слагаемое правой части уравнения).

Приравняв первое слагаемое правой части уравнения (2.29) нулю и решив его относительно  $h_{uz}$  получим высоту изделия, при котором давление прессования, передаваемое через формуемое изделие к заслонке будет равно нулю, иначе говоря, давление прессования будет полностью уравновешиваться силой трения, возникающей между формуемой смесью и стенками матрицы.

$$h_{uz} = \frac{2R(U_1 - nU_2)}{(U_1 + nU_2)k_{\sigma}\mu}. \quad (2.30)$$

Аналогично математическому моделированию процесса экструзивного формования изделий с несквозными пустотными отверстиями, изложенного в § 2.2, в соответствии с расчетной схемой, представленной на рис. 2.9 и уравнениями (2.25) – (2.29) баланс давлений в момент страгивания и начала перемещения в дополнительной матрице 2 можно записать в виде

$$1 = q_1^{tp} + q_2^{tp} + q_3^{tp} + q_4^{tp} + \dots + q_{n-1}^{tp} + q_n^{tp} \quad (2.31)$$

где  $q_1^{tp}, q_2^{tp}, q_3^{tp}, q_4^{tp}$  и  $q_{n-1}^{tp}, q_n^{tp}$  - соответственно давления, затрачиваемые на преодоление силы трения между первым изделием в матрице со стороны прессующего пуансона и стенкой матрицы и т.д.;  $n$  – количество изделий в матрице.

Значение давления, необходимого для преодоления силы трения между первым изделием со стороны прессующего пуансона и стенками матрицы можно определить, используя уравнение (2.28). При этом, также как при моделировании экструзивного формования с несквозными пустотными отверстиями в изделии, примем допущение о том, что соотношение между давлением, затрачиваемым на уплотнение формуемой смеси и давлением, затрачиваемым на преодоление сил трения между изделием и стенками матрицы, не зависимо от их абсолютного значения, сохраняется до их выхода из полости матрицы.

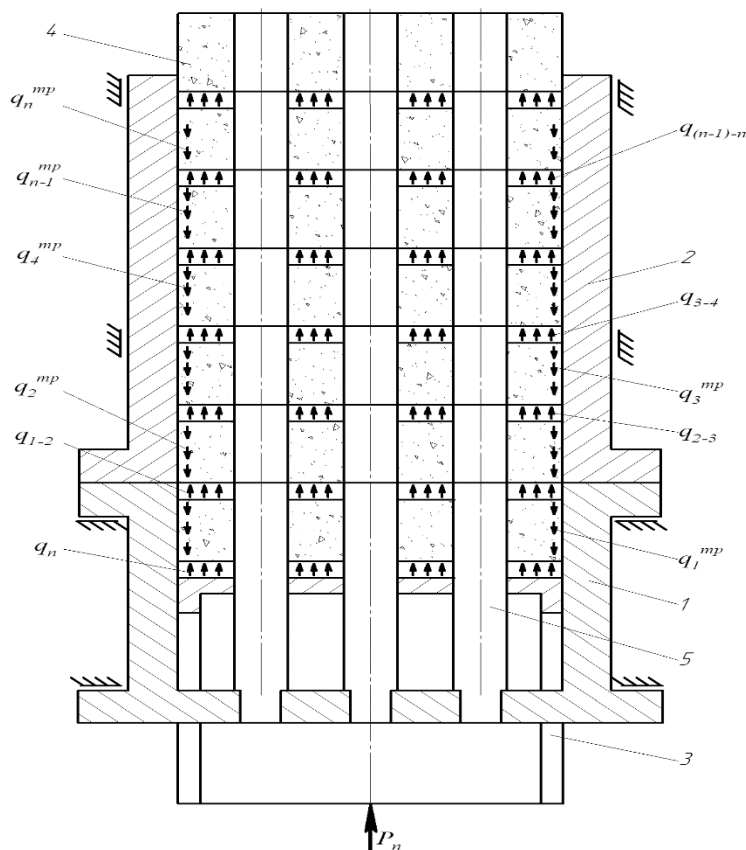


Рис. 2.9. Расчетная схема процесса экструзивного формования изделий со сквозными пустотными отверстиями в установившемся режиме работы прессового оборудования

В соответствии с принятыми допущениями, при действии единичного давления прессования, давление необходимое для перемещения отформованных изделий в полости дополнительной матрицы определяются теми же уравнениями, что и при моделировании процесса экструзивного формования с несквозными пустотными отверстиями. Поэтому, для определения давления, необходимого для перемещения с первого по  $n^{\text{ое}}$  изделие могут быть использованы полученные в § 2.2 уравнения, а именно (2.3) ... (2.20). При этом учитывая то, что давление выпрессовки отформованного изделия, находящегося у выходного отверстия дополнительной матрицы будет отличаться от давления выпрессовки изделия с не сквозными пустотными отверстиями уравнение (2.20) для экструзивного формования со сквозными пустотными отверстиями примет вид



$$n = \log_{q_{1,2}} \lambda_c \quad (2.57)$$

где,  $\lambda_c$  – давление, необходимое для выпрессовки изделия, находящегося у выходного отверстия дополнительной матрицы, значение которого определяется экспериментально.

Таким образом, математическая модель процесса экструзивного формования изделий со сквозными пустотными отверстиями от математической модели процесса экструзивного формования изделий с несквозными пустотными отверстиями отличается уравнениями, описывающими распределение единичного давления прессования на давление, затрачиваемого на преодоление силы трения формируемой смеси об стенки матрицы и на давление, затрачиваемого на уплотнение смеси. Кроме этого, значение давления выпрессовки  $n^{20}$  изделия при экструзивном формовании изделий со сквозными пустотными отверстиями, определяемое экспериментально, будет отличаться от значения давления выпрессовки изделия с несквозными пустотными отверстиями. Поэтому эти особенности должны быть учтены при численном расчете и исследовании математических моделей.

#### **2.4. Исследование процесса формирования и стабилизации давления прессования при экструзивном формовании изделий**

Задачами теоретических исследований процесса формирования и стабилизации давления прессования при экструзивном формовании строительных изделий является определение влияния параметров смеси и размеров формируемого изделия на распределение единичного давления прессования на давление, затрачиваемое на процесс уплотнения смеси и на преодоление сил трения между формируемым изделием и стенками матрицы, а также определение зависимости установившегося значения давления прессования при экструзивном формовании изделий от параметров смеси,



геометрических размеров формуемого изделия и длины матриц экструзивного прессового оборудования при формовании строительных изделий с несквозными и со сквозными пустотными отверстиями.

При формовании изделий с несквозными пустотными отверстиями распределение единичного давления прессования на давление, затрачиваемое на уплотнение формуемой смеси и на давление, затрачиваемое на преодоление силы трения между формуемой смесью и стенками матрицы, описаны уравнениями (2.1) и (2.2). Аналогичные зависимости (2.27) и (2.28) получены при математическом моделировании изделий со сквозными пустотными отверстиями.

Используя эти уравнения, можно определить степень влияния параметров смеси и геометрических размеров формуемого изделия на соотношение давлений, затрачиваемых на уплотнение смеси и на преодоление сил трения между смесью и стенками матрицы. В качестве исходных данных при расчете и исследовании математической модели процесса были приняты следующие значения:  $a = 0,12$  м;  $b = 0,25$  м,  $R_1 = 0,04054$  м;  $R_2 = 0,02717$  м;  $d_n = 0,36$  м;  $h_{uz} = 0,088$  м;  $k_{\sigma} = 0,4$ ;  $\mu = 0,2$ ;  $n = 3$ ;  $F_1 = 0,03$  м<sup>2</sup>;  $F_2 = 0,01017$  м<sup>2</sup>;  $F_3 = 0,022$  м<sup>2</sup>;  $F_4 = 0,01017$  м<sup>2</sup>;  $U_1 = 0,74$  м;  $U_2 = 0,113$  м.

Для реализации поставленной задачи разработан алгоритм расчета и исследования математической модели процесса экструзивного способа формования строительных изделий с несквозными и с сквозными пустотными отверстиями. При этом в зависимости от поставленной задачи определялись диапазон и шаг варьирования исследуемых параметров.

На рис. 2.10 представлены графики распределения единичного давления прессования на давление, затрачиваемое на уплотнение смеси (кривые 1, 2 и 3), и на давление, которое затрачивается на преодоление силы трения смеси о стенки матрицы (кривые 4, 5 и 6), в зависимости от высоты формуемого изделия с несквозными пустотными отверстиями.

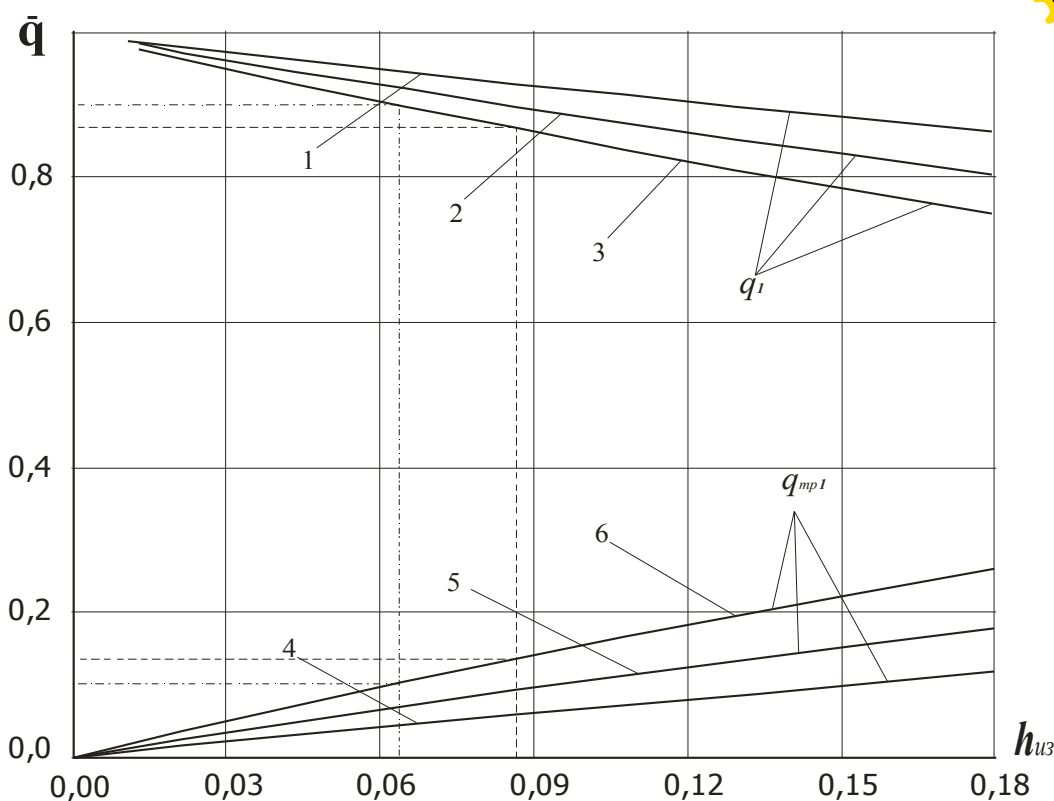


Рис. 2.10. Распределение единичного давления прессования от высоты формируемого изделия с несквозными пустотными отверстиями

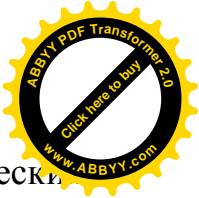
Кривые 1, 2 и 3, описывающие изменение давления прессования, затрачиваемого на уплотнение смеси, построены при значениях произведения коэффициентов бокового распора и трения смеси о стенки матрицы, соответственно равной 0,03, 0,045 и 0,06. При аналогичных значениях произведения коэффициентов бокового распора и трения смеси о стенки матрицы построены кривые 4, 5 и 6, которые описывают изменение давления прессования, затрачиваемого на преодоление силы трения смеси о стенки матрицы. Из представленных графиков видно, что с увеличением высоты формируемого изделия доля единичного давления прессования, затрачиваемого на уплотнение смеси, уменьшается, а доля единичного давления прессования, затрачиваемого на преодоление силы трения смеси о стенки матрицы, увеличивается. Это объясняется тем, что с увеличением высоты формируемого изделия, площадь поверхности формируемого изделия, контактирующих с боковыми стенками матрицы увеличивается.



Следовательно, при прочих равных условиях, значение силы трения между формуемым изделием и стенками матрицы повышается, соответственно и увеличивается значение давления прессования, затрачиваемого на преодоление этих сил трения. Например, как видно из представленного на рис. 2.10 графика, при высоте формуемого изделия 0,066 м и значении произведения коэффициентов трения смеси о стенки матрицы и бокового распора 0,03, 90 % давления прессования затрачивается на уплотнение смеси (кривая 3), а 10 % на преодоление силы трения между смесью и стенками матрицы (кривая 6). При аналогичном значении произведения коэффициентов трения смеси о стенки матрицы и бокового распора, но при формовании изделия высотой 0,088 м, 86 % давления прессования затрачивается на уплотнение смеси, а 14% затрачивается на преодоление силы трения между смесью и стенками матрицы.

При формовании изделия с не сквозными пустотными отверстиями равенство давлений, затрачиваемых на уплотнение смеси и на преодоление силы трения смеси об стенки матрицы и пустотообразователей, для значений произведений коэффициентов бокового распора и трения 0,03, 0,045 и 0,06, наступает, соответственно при высоте формуемого изделия 0,09008 м, 0,06006 м и 0,04505 м.

Полученная зависимость распределения давления прессования на уплотнение смеси и на преодоление трения свидетельствует о том, что при экструзивном формовании изделий имеет место одностороннее прессование, поэтому для такого способа формования изделий должны быть разработаны нормативы по ограничению допустимого перепада давления прессования по высоте изделия в процессе его формования. При известном значении допустимого перепада напряжений по высоте формуемого изделия, используя полученные зависимости можно определить, для конкретных параметров смеси и размеров формуемого изделия, максимально допустимую высоту формуемого изделия.



Результаты исследования влияния параметров смеси и геометрически размеров формуемого изделия на распределение единичного давления прессования на давление, затрачиваемое на уплотнение смеси и на преодоление сил трения между стенками матрицы и пустотообразователей при формовании изделия со сквозными пустотными отверстиями представлены на рис. 2.11.

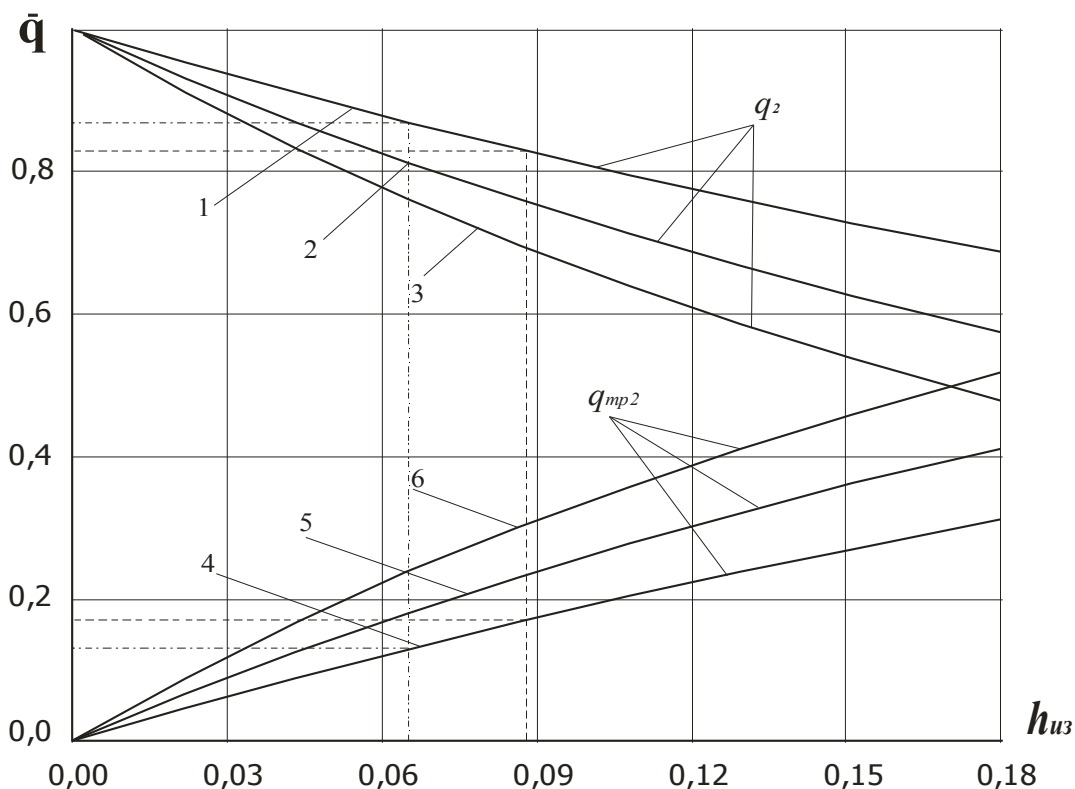


Рис. 2.11. Распределение единичного давления прессования от высоты формуемого изделия с сквозными пустотными отверстиями

Из представленных графиков видно, что распределение единичного давления прессования при формовании изделия без пустотных отверстий существенно отличается от распределения единичного давления прессования при формовании изделий со сквозными пустотными отверстиями. Например, для значения произведения коэффициентов бокового распора и трения смеси об стенку матрицы и пустотообразователя равной 0,03, при формовании изделия высотой 0,066 м, 76% давления прессования затрачивается на уплотнение смеси (кривая 3), а 24%

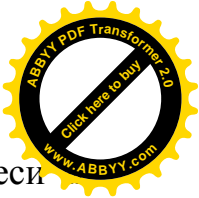




затрачивается на преодоление силы трения между уплотняемой смесью стенками матрицы и пустотообразователей (кривая б). В случае формования изделия высотой 0,088 м и значении произведения коэффициентов бокового распора и трения смеси об стенки матрицы и пустотообразователей равном 0,03, 68 % давления прессования затрачивается на уплотнение смеси, а 32 % затрачивается на преодоление силы трения уплотняемой смеси об стенки матрицы и пустотообразователей. При формовании изделия со сквозными пустотными отверстиями равенство давлений, затрачиваемых на уплотнение смеси и на преодоление силы трения смеси об стенки матрицы и пустотообразователей, для значений произведений коэффициентов бокового распора и трения 0,03, 0,045 и 0,06 наступает, соответственно при высоте формуемого изделия, равной 0,3408 м, 0,2272 м и 0,1704 м.

Как показывает анализ результатов теоретических исследований процесса экструзивного формования строительных изделий, при прочих равных условиях, экструзивное формование строительных изделий с сквозными пустотными отверстиями увеличивает затраты давления прессования на преодоление сил трения между стенками матрицы и пустотообразователями до 35 %, по сравнению с формованием изделий с не сквозными пустотными отверстиями. Это связано с тем, что при формовании изделий с сквозными отверстиями пустотными отверстиями, при одинаковом значении давления прессования и габаритных размерах формуемого изделия, за счет увеличения площади боковой поверхности, контактирующей с уплотняемой смесью, затраты давления прессования на преодоления силы трения между смесью и стенками пустотообразователей повышается.

Повышение доли давления прессования, затрачиваемого на преодоление силы трения между уплотняемой смесью и стенками матрицы и пустотообразователей, приводит к увеличению значения перепада давления по высоте формуемого изделия, а это в свою очередь, повышает не равномерность отформованного изделия. Как было отмечено выше, при экструзивном формовании строительных изделий, имеет место



одностороннее прессование, поэтому оценка влияния параметров смеси габаритных размеров формуемого изделия на перепад давлений по высоте изделия имеет определенную ценность при обосновании параметров экструзивного прессового оборудования.

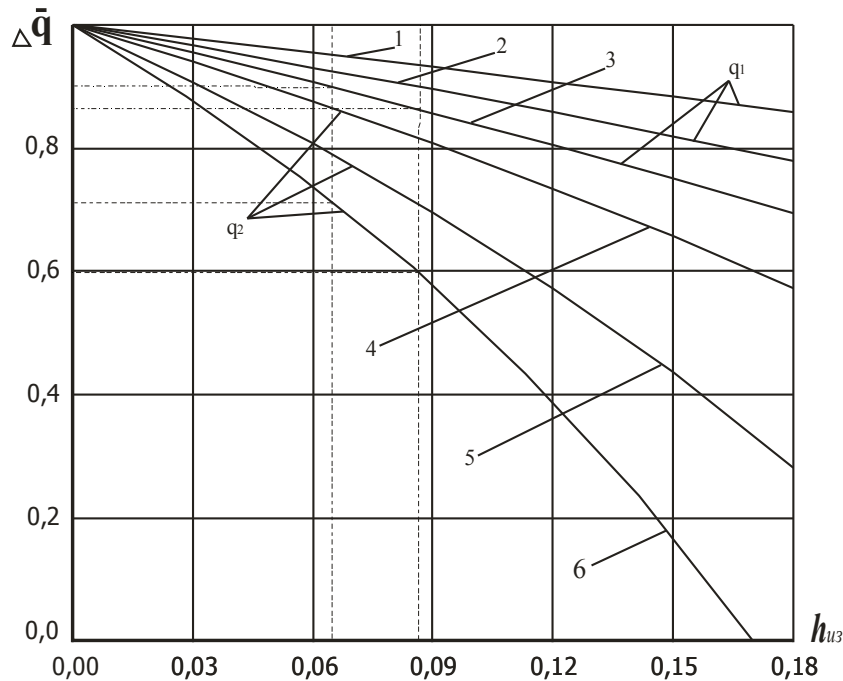


Рис. 2.12. Зависимость отношения давления прессования, затрачиваемого на уплотнение смеси к давлению прессования, затрачиваемого на преодоление силы трения между уплотняемой смесью об стенки матрицы от высоты формуемого изделия

На рис. 2.12 представлены графики зависимости перепада давления прессования по высоте формуемого изделия в процессе экструзивного формования. Кривые 1, 2 и 3 характеризуют изменение перепада давления прессования в зависимости от высоты формуемого изделия при формовании изделий с несквозными пустотными отверстиями, а кривые 4, 5 и 6 характеризуют изменение перепада давления прессования в зависимости от высоты формуемого изделия при формовании изделий с сквозными пустотными отверстиями.

Таким образом, полученные зависимости перепада давления прессования по высоте формуемого изделия можно будет использовать для



обоснования максимальной высоты изделия при экструзивном формовании. Для этого исходя из технологических требований к готовому изделию, должно быть разработано нормативы о допустимом значении перепада давления прессования по высоте изделия. Например, при допустимом перепаде давления прессования по высоте формуемого изделия в 20%, экструзивное формование изделий с сквозными пустотными отверстиями допускается высотой до 0,066 м, а при формовании изделий с несквозными пустотными отверстиями допустимая высота изделия может достигать до 0,16 м. Это свидетельствует о том, что изделия с сквозными пустотными отверстиями наряду с достоинствами имеют и определенные недостатки. Последнее, заключается в том, что, при прочих равных условиях, ограничение по высоте для изделий, с сквозными отверстиями наступает раньше, чем для изделий с несквозными отверстиями.

При экструзивном формовании изделий одним из важных параметров, влияющим на качество формуемого изделия является длина матрицы. Именно от значения этого параметра зависит установившееся значение давления прессования, которое, в свою очередь, является определяющим параметром для прочностных свойств отформованного изделия. В процессе математического моделирования экструзивного формования строительного кирпича были получены зависимости количества формуемых изделий в матрице или длины матрицы от параметров смеси и геометрических размеров формуемого изделия.

Исследование зависимости длины матрицы от параметров смеси и геометрических размеров формуемого изделия показывает, что определяющее влияние на длину матрицы оказывает произведение коэффициентов трения смеси об стенки матрицы и бокового распора смеси. Что касается геометрических размеров формуемого изделия, то как показывают расчеты, на длину матрицы геометрические размеры формуемого изделия оказывают незначительное влияние. На рис. 2.13 представлены графики зависимостей длины матрицы от произведения

коэффициентов трения смеси об стенки матрицы и бокового распора смеси. При этом кривая 1 построена для изделия с не сквозными пустотными отверстиями, а кривая 2 – для изделий с сквозными пустотными отверстиями.

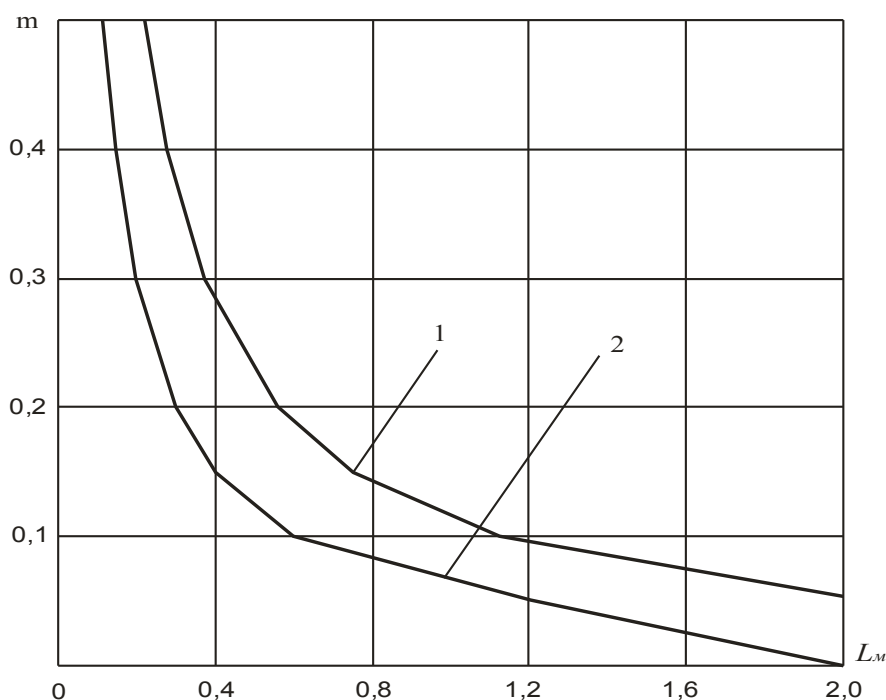


Рис. 2.13. Зависимость длины матрицы экструзивного прессового оборудования от произведения коэффициентов трения смеси об стенки матрицы и бокового распора смеси

Из представленных графиков видно, что с уменьшением значения произведения коэффициентов трения смеси об стенки матрицы и бокового распора смеси интенсивность увеличения длины матрицы повышается. При прочих равных условиях, длина матрицы для формирования изделия с сквозными пустотными отверстиями меньше чем длина матрицы при формировании изделия без пустотных отверстий или изделий с не сквозными пустотными отверстиями. Это объясняется тем, что наличие сквозных пустотных отверстий в формируемом изделии, создает дополнительную силу трения между смесью и стенками пустотообразователя, а это в свою очередь увеличивает силу сопротивления перемещению отформованных изделий в полости матрицы. В результате этого, относительно меньшая длина матрицы



обеспечивает сравнительно большее сопротивление перемещению отформованных изделий в полости матрицы.

При фиксированном значении гидравлического радиуса поверхности прессования формуемого изделия изменение высоты и геометрических размеров формуемого изделия, практически не влияет на длину матрицы. Поэтому требуемое удельное давление прессования для фиксированного значения длины матрицы и гидравлического радиуса формуемого изделия, может быть достигнуто путем регулирования влажности смеси.

При исследовании процесса экструзивного формования изделий одним из основных этапов является исследование и установление зависимости формирования и стабилизации давления прессования от параметров смеси и геометрических размеров формуемого изделия, а также от длины матрицы экструзивного прессового оборудования.

При экструзивном формовании изделий процесс формирования и стабилизации давления прессования в начале работы прессового оборудования может осуществляться двумя способами. Первый способ – когда процесс формования изделий, в начале работы экструзивного прессового оборудования осуществляется без контр пуансона. В этом случае процесс формирования и стабилизации давления прессования несколько затягивается (увеличивается количество циклов формования изделий до установившегося режима работы), но при этом отпадает необходимость использования контр пуансона. Второй способ – когда процесс формования первых изделий до полного заполнения полости матрицы отформованными изделиями осуществляется с использованием контр пуансона. В этом случае процесс формирования и стабилизации давления прессования происходит более интенсивно и наступает одновременно с заполнением полости матрицы отформованными изделиями, при этом сокращается время, затрачиваемое от начала работы экструзивного прессового оборудования до его установившегося режима работы.



Следовательно, для повышения производительности экструзивного прессового оборудования целесообразнее применение способа стабилизации давления прессования в начале работы с использованием контр пуансона. Поэтому рассмотрим зависимость изменения единичного давления прессования в начале работы экструзивного прессового оборудования до установившегося режима его работы от параметров смеси, геометрических размеров и формы формуемого изделия, а также от длины матрицы.

На рис. 2.14 а), б) и в) представлены зависимости изменения единичного давления прессования от начало работы экструзивного прессового оборудования до его установившегося режима, построенные соответственно при значениях произведения коэффициентов бокового распора смеси и трения об стенки матрицы, равным 0,03, 0,045 и 0,06.

Для наглядности иллюстрации полученных результатов, процессе исследования математической модели в качестве давления прессования использовалось единичное давление, а давление выпрессовки вычислялось в долях от этого единичного давления. В связи с этим, давления прессования в течение одного цикла повышалась от нуля, и стабилизация давления прессования в установившемся режиме работы прессового оборудования, происходило на уровне единичного давления прессования, т.е. единицы. Кроме этого, для сокращения габаритов графика по оси абсцисса между циклами процесс загрузки смеси в матрицу исключен из графика.

Из представленного графика (рис. 2.14, а), б) и в) видно, что процесс повышения давления прессования, до его стабилизации носит устойчивый характер и его интенсивность возрастания давления прессования, в основном, определяется параметрами смеси, а именно значением произведения коэффициентов бокового распора и трения смеси о стенки матрицы.

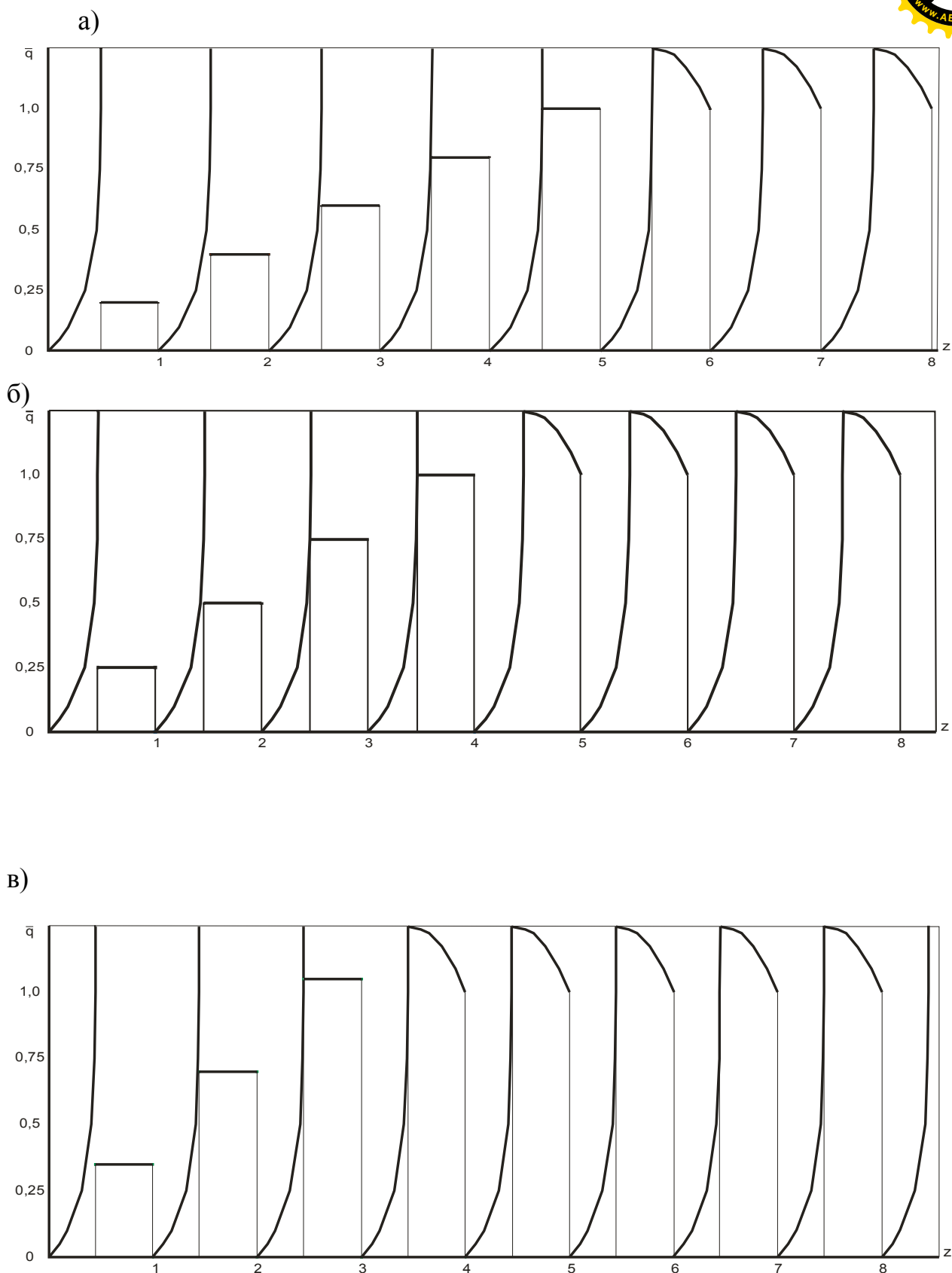


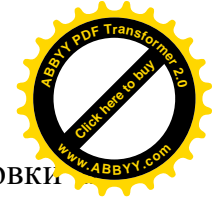
Рис. 2.14. Зависимость изменения единичного давления прессования в начале работы экструзивного прессового оборудования





Как видно, из представленных графиков на рис. 2.14 а), б) и в), уменьшением значения произведения коэффициентов бокового распора и трения смеси об стенки матрицы количество циклов от начало работы прессового оборудования до установившегося режима работы увеличивается. Например, уменьшение значения произведения коэффициентов бокового распора и трения смеси об стенки матрицы в два раза, приводит увеличению необходимого количества циклов до установившегося режима в 1,75 раза. Это связано с тем, что с увеличением значения произведения коэффициентов бокового распора и трения смеси об стенки матрицы повышается удельный вес затрат давления прессования на преодоление сил трения между формуемой смесью и стенками матрицы. Следовательно, при экструзивном формовании изделий определяющими длину матрицы параметрами будут являться параметры формуемой смеси и гидравлический радиус поверхности изделия, контактирующий с прессующим пуансоном. С повышением влажности формуемой смеси уменьшается значение коэффициента трения смеси об стенки матрицы, что в свою очередь приводит к увеличению значению произведения коэффициентов бокового распора и трения смеси об стенки матрицы. При этом значение гидравлического радиуса поверхности изделия, контактирующего с прессующим пуансоном, определяется наличием или отсутствием сквозных пустотных отверстий в формуемом изделии.

Таким образом, результаты исследования математической модели процесса экструзивного формования изделий, показывает, что полученные зависимости в процессе математического моделирования правильно описывают физико-механические процессы, протекающие при экструзивном формовании изделий, и могут быть использованы для определения и обоснования параметров экструзивного прессового оборудования. Для заданных параметров смеси, геометрических размеров формуемого изделия и давления прессования используя полученные зависимости можно определить



длину подвижной матрицы, требуемое усилие прессования, выпрессовки и другие параметры экструзивного прессового оборудования.

## **2.5. Экспериментальные исследования процесса экструзивного формования строительного кирпича**

Экспериментальные исследования процесса экструзивного формования изделий проводились на лабораторном прессе ПСУ -12 с использованием специальной пресс-формы, позволяющего замерять необходимые параметры и на экспериментальном экструзивном прессовом оборудовании. В процессе экспериментального исследования экструзивного формования изделий из полусухой смеси решались следующие задачи:

- определение удельного веса давления прессования, затрачиваемого на преодоление силы трения между формируемой смесью и стенками пресс-формы;
- определение удельного веса давления прессования, затрачиваемого на уплотнение формируемой смеси в пресс-форме;
- определение давления выпрессовки отформованного изделия из полости пресс-формы в свободном и напряженном состоянии;
- построение уравнения прессования для разных значений влажности и гидравлического радиуса поверхности прессования изделия;
- определение прочности свежесформованного изделия от удельного давления прессования.

Для решения поставленных задач было разработано и создано специальное устройство, принципиальная схема которого показано на рис. 2.15. Специальное устройство для исследования процесса экструзивного формования изделий из полусухой смеси включает в себя пресс-форму 1 с нижним неподвижным пуансоном 2 и верхним подвижным пуансоном 3. При этом пресс-форма 1 устанавливается на цилиндрической втулке 4 с боковыми пазами, в которых установлена скобообразная подставка 5, для поддержки

неподвижного пуансона 2. Втулка 4 и подставка 5 соответственно соприкасаются с штоком 6 и корпусом 7 гидроцилиндра 8. Для регулирования высоты устройства с матрицей 1 гидроцилиндр 8 снабжен насосом 9, регулируемым дросселем 10 и клапаном 11. Значение усилия, воспринимаемое матрицей 1, определялось с помощью манометра 12 через давление в полости гидроцилиндра 8. Устройство для исследования процесса экструзивного формования изделий с пресс-формой 1 устанавливалось на нижней платформе лабораторного пресса 13 с пультом управления 14.

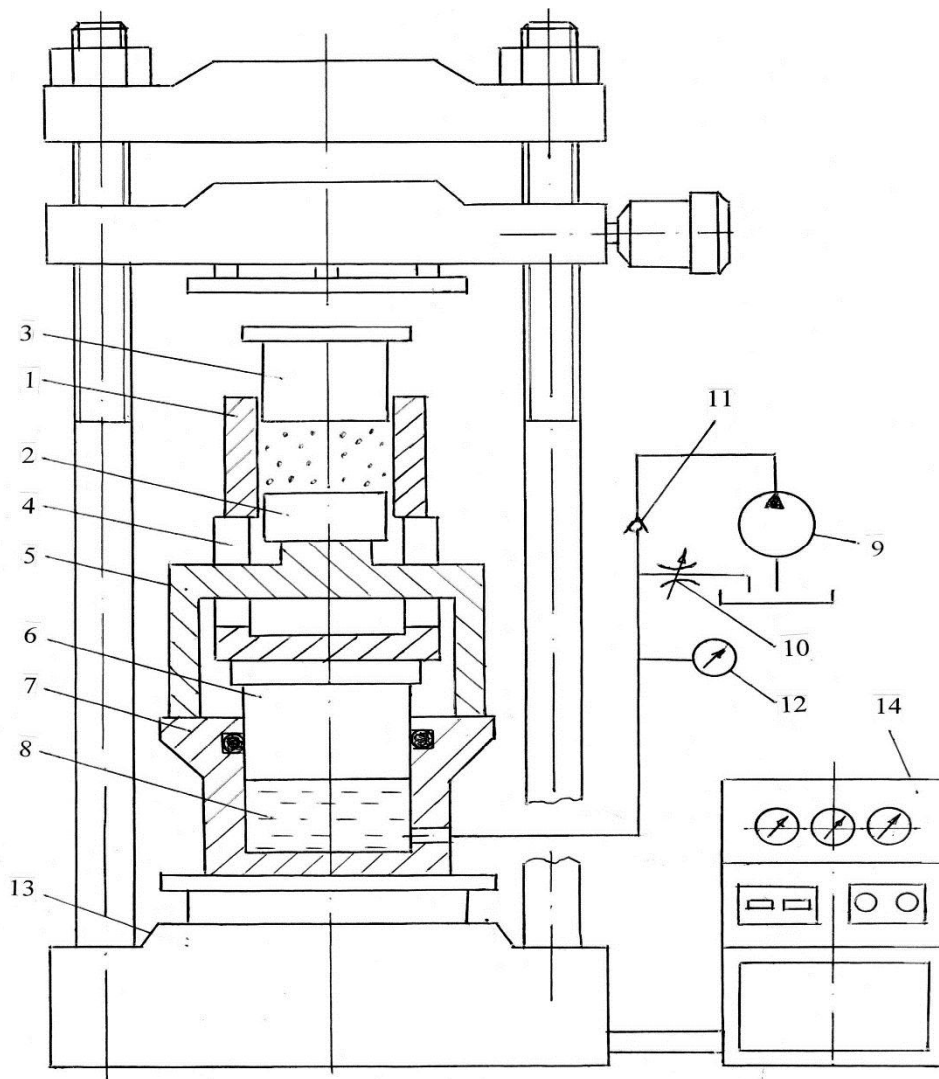


Рис. 2.15. Принципиальная схема установки для экспериментальных исследований процесса экструзивного формования изделий

Величина деформации смеси в пресс-форме 1 замерялось при помощи штангенциркуля, который был прикреплен к корпусу матрицы таким



образом, чтобы можно было замерять относительное перемещение пуансона 3 и корпуса пресс-формы 1.

Экспериментальное определение распределения давления прессования на давление, затрачиваемое на процесс уплотнения смеси в пресс-форме 1 и на давление, затрачиваемое на преодоление силы трения между формируемой смесью и стенками пресс-формы 1, осуществлялось следующим образом. Полость пресс-формы 1 заполнялась подготовленной смесью, и в него устанавливался подвижный пуансон 3. Перед началом процесса прессования смеси в пресс-форме 1 регулируемый дроссель 10 закрывается. Затем при помощи насоса 9 шток гидроцилиндра 8 выдвигается таким образом, чтобы верхние торцы втулки 4 и подставки 5 соприкасались соответственно с пресс-формой 1 и с неподвижным пуансоном 2, а нижние торцы - соприкасались со штоком 6 и с корпусом 7 гидроцилиндра 8.

По завершению подготовительных работ для прессования смеси в пресс-форме 1, включается лабораторный пресс 13, и его стол начинает подниматься. С момента касания подвижного пуансона 3 промежуточной траверсы пресса 13 начинается процесс прессования смеси в пресс-форме 1. Удельное давление прессования в процессе экспериментальных исследований варьировалось от нуля до 25 МПа с градацией 2,5 МПа. Давление прессования, затрачиваемое на уплотнение смеси определялось по усилию, воспринимаемому неподвижным пуансоном 2, а давление прессования, затрачиваемое на преодоление силы трения между уплотняемой смесью и стенками пресс-формы 1, определялось по величине давления в поршневой полости гидроцилиндра 8. Влажность смеси в процессе экспериментальных исследований изменялась ступенчато с градацией 4% от нуля до 12%. Используемые пресс-формы при экспериментальных исследованиях имели прямоугольную, с соотношением сторон, равным двум, квадратную и круглую форму в плоскости перпендикулярной оси прессования. Относительная высота отформованного изделия изменялась в диапазоне от 0,5 до 4. Такой диапазон относительной высоты



отформованного изделия обеспечивался при глубине загрузки смеси от 0,5 до 0,2 м.

При определении давления прессования, затрачиваемого на преодоление силы трения между уплотняемой смесью и стенками пресс-формы 1, установлено, что при фиксированном значении давления прессования, с увеличением значения влажности смеси, сила трения смеси об стенки пресс-формы уменьшается, а величина деформация смеси увеличивается. На рис. 2.16 представлены зависимости отношения давления прессования, затрачиваемого на уплотнение смеси к давлению прессования, затрачиваемого на преодоление силы трения между уплотняемой смесью об стенки пресс-формы от относительной высоты формуемого изделия, построенные по результатам обработки экспериментальных данных давлений прессования на подвижном и неподвижном пуансонах при разных значениях влажности уплотняемой смеси.

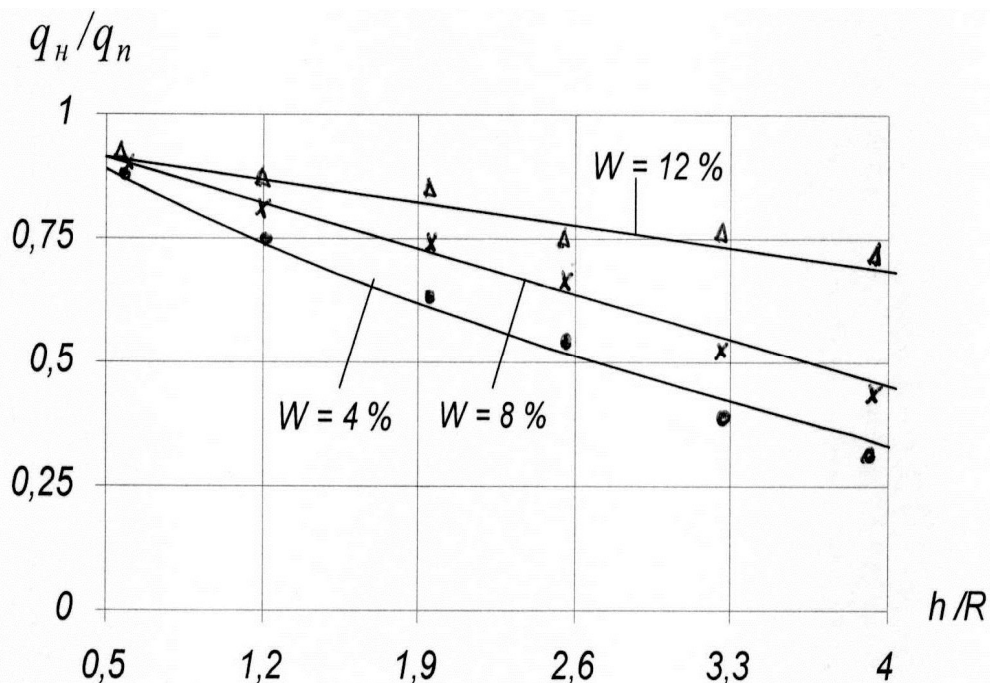


Рис. 2.16. Зависимость отношения давления прессования, затрачиваемого на уплотнение смеси к давлению прессования, затрачиваемого на преодоление силы трения между уплотняемой смесью об стенки матрицы от относительной высоты формуемого изделия



Представление результатов экспериментальных исследований в таком виде, обеспечивает применимость результатов этих исследований не зависимо от формы и размеров формуемого изделия лишь, при условии, если относительная высота формуемого изделия находится в данном диапазоне. На рис. 2.17 представлены фрагменты проведения экспериментальных исследований на лабораторном прессе ПСУ-12 со специальным устройством для замера давлений на подвижном 3 и неподвижном 2 пуансонах.

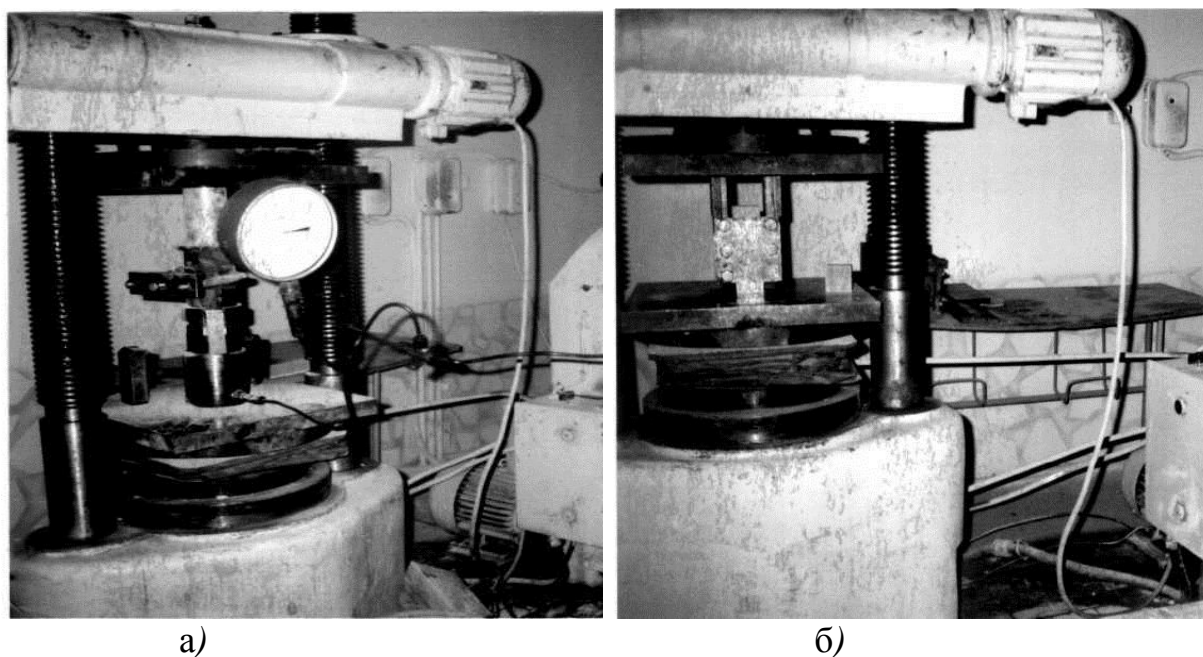


Рис. 2.17. Фрагмент проведения экспериментальных исследований на лабораторном прессе ПСУ-12

Одним из задач экспериментальных исследований являлась определение давления выпрессовки отформованного изделия из пресс-формы 1 в свободном и напряженном состоянии. Под выпрессовкой отформованного изделия из пресс-формы понимается процесс перемещения изделия в пресс-форме, когда оно находится под действием усилия прессования. При этом по разнице усилий выпрессовки в напряженном и в свободном состоянии определялось значение коэффициента, учитывающего обратимую деформацию после снятия давления прессования.



Определение усилия выпрессовки отформованного изделия из полости пресс-формы 1 в напряженном состоянии производилась следующим образом. При фиксированном значении давления прессования, действующего на формуемое изделие, при помощи насоса 9 (рис. 2.16) производился подъем пресс-формы 1 и в этот момент, через давление в поршневой полости гидроцилиндра 8, определялось усилие выпрессовки отформованного изделия. Определение усилия выпрессовки отформованного изделия из полости пресс-формы в свободном состоянии производилась обычным образом, т.е. как это показано на рис. 2.18.

На рис. 2.18 представлены зависимости отношения давления выпрессовки отформованного изделия из пресс-формы 1 к давлению прессования, построенные при разных значениях влажности формуемой смеси. Из представленных зависимостей видно, что отношение давления, необходимого для выпрессовки отформованного изделия к давлению прессования этого изделия, возрастает с уменьшением значения влажности формуемой смеси. Прямые 1 и 2, построены соответственно для влажности смеси равной 4% и 12%, и характеризуют изменение отношения давления выпрессовки к давлению прессования от относительной высоты формуемого изделия, при выпрессовке изделия в напряженном состоянии, соответственно при влажности.

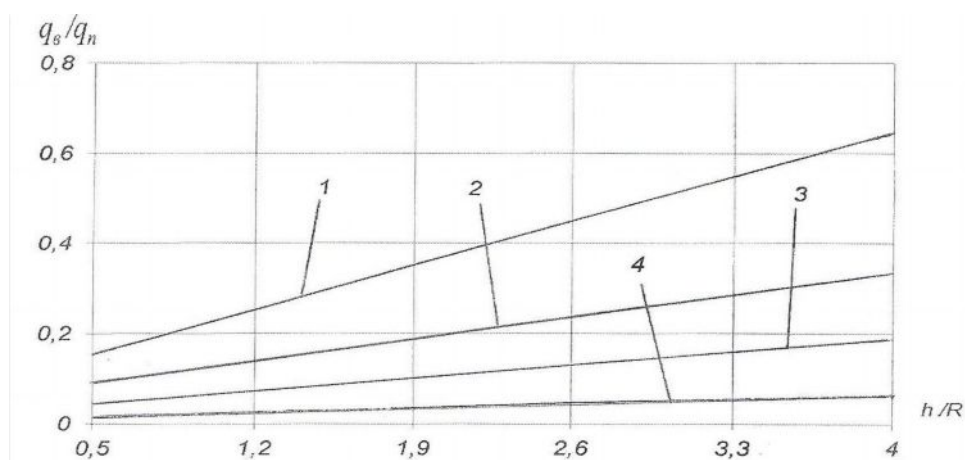


Рис. 2.18. Зависимость отношения давления выпрессовки отформованного изделия к давлению прессования этого изделия от относительной высоты формуемого изделия





Прямые 3 и 4 показывают, соответственно при влажности смеси 4% и 12% отношение давления выпрессовки к давлению прессования изделия в свободном состоянии. При теоретических исследованиях изменение влажности формуемой смеси учитывалось через произведения коэффициентов бокового распора и трения смеси об стенки пресс-формы. При этом постоянство его значения, при изменении влажности формуемой смеси было принято на основании исследований, приведенных в следующих работах [1, 2, 15, 16].

Определение влияния параметров формуемой смеси и изделия на уравнение прессования проводилась следующим образом. Влажность формуемой смеси изменялась от 4% до 12% с градацией 2%. При этом через каждые 5 МПа замерялось относительная деформация смеси и по этим данным строились уравнения прессования. Диапазон изменения давления прессования в процессе экспериментальных исследований составлял от нуля до 20 МПа. Форма сечения пресс-форм перпендикулярно оси прессования изделия, были одинаковым, как и в предыдущих экспериментах: круглой, квадратной и прямоугольной с соотношением сторон, равным двум. При этом площадь поверхности прессования изделия на всех пресс-формах была одинаковым и равным  $0,0019625 \text{ м}^2$ .

На рис. 2.19 представлены зависимости, полученные в процессе теоретических (пунктирные линии) и экспериментальных (сплошные линии) исследований удельного сопротивления смеси от относительной деформации при разных значениях влажности формуемой смеси. Из представленных графиков видно, что при фиксированном значении удельного давления прессования с повышением значения влажности формуемой смеси и гидравлического радиуса изделия.

Экспериментальная проверка реализуемости экструзивного способа формования при производстве строительного кирпича и оценка адекватности результатов теоретических исследований, в части определения количества циклов от начало работы до его установившегося режима, осуществлялось на

лабораторном стенде, принципиальная схема которого изображен на рис. 2.20, а), а на рис. 2.20, б) представлен его общий вид.

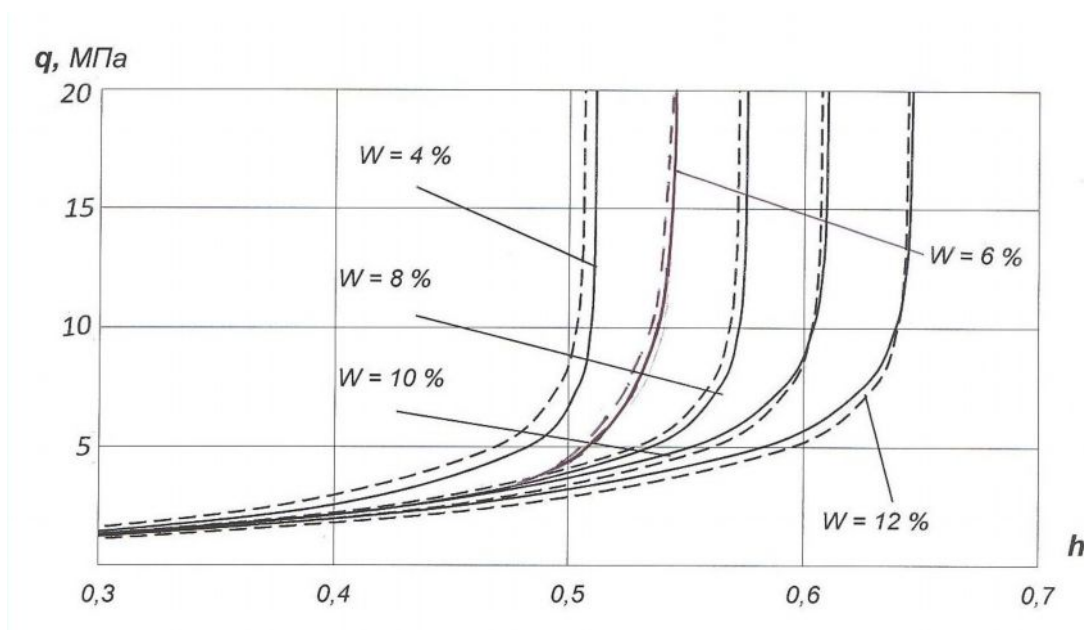
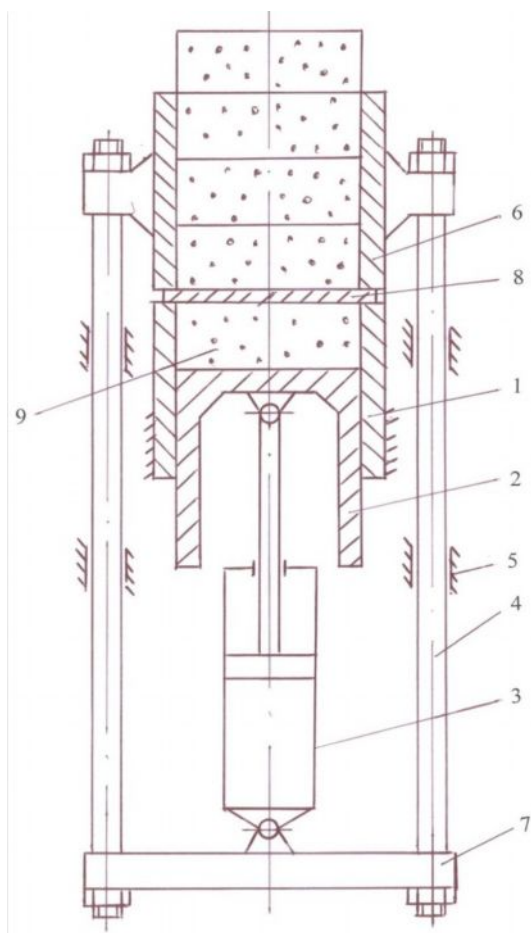


Рис. 2.19. Зависимость удельного сопротивления формуемой смеси от его относительной деформации

Лабораторный стенд включает в себя неподвижную основную матрицу 1 с прессующим пуансоном 2 и гидроцилиндром 3, тяги 4, установленные в направляющих 5 и жестко соединяющие подвижную матрицу 6 с нижней балкой 7, на которой в свою очередь закреплен корпус прессующего гидроцилиндра 8. Кроме этого, для перекрытия выходного отверстия основной матрицы 1, на первых циклах работы стенда до установившегося режима, стенд снабжен заслонкой 9. Изделие 10 прессуется в полости неподвижной матрицы 1, ограниченным с одной стороны пуансоном 2, а с другой заслонкой 9.



а)



б)

Рис. 2.20. Принципиальная схема и общий вид лабораторного станда для экспериментальных исследований экструзивного способа формования изделий.

Лабораторный станд для экспериментальных исследований процесса экструзивного формования строительного кирпича со сквозными пустотными отверстиями работает следующим образом. В начале работы станда полость неподвижной матрицы 1 заполняется смесью и закрывается заслонкой 9. С включением прессующего гидроцилиндра 3 выдвижение его штока приводит сначала к опусканию подвижной матрицы 6, а затем момента ее касания заслонки 9, начинается подъем прессующего пуансона 2, что в свою очередь приводит к прессованию изделия. При достижении требуемого давления прессования, гидрораспределитель управления прессующим гидроцилиндром 3 переключается, и шток начинает



втягиваться, что в свою очередь, приводит к опусканию прессующей пуансона 2 и подъему подвижной матрицы 6. Затем убирается заслонка 9 и повторно включается прессующий гидроцилиндр 3, в результате этого подвижная матрица 6, опускаясь вниз, упирается торцом в торец неподвижной матрицы 1. При этом входное отверстие подвижной матрицы 6 строго устанавливается у входного отверстия неподвижной матрицы 1. Далее под действием усилия, развиваемого прессующим гидроцилиндром 3, изделие, отформованное на первом цикле работы станда, выпрессовывается из полости неподвижной матрицы 1 и запрессовывается в полость подвижной матрицы 6. На этом первый цикл работы лабораторного станда завершается и начинается второй цикл. Все операции, выполненные на первом цикле, повторяются при формовании второго изделия и до тех пор, пока полость подвижной матрицы 6 не заполнится полностью отформованными изделиями 10. С начала работы станда с каждым циклом давление прессования возрастало и при полном заполнении полости подвижной матрицы 6, происходила стабилизация давления прессования и в дальнейших циклах процесс прессования изделия осуществлялось без использования заслонки 9.

В результате экспериментальных исследований процесса экструзивного формования изделий на лабораторном станде установлено:

- реализуемость экструзивного способа при формовании строительного кирпича со сквозными пустотными отверстиями;
- получена зависимость усилия, необходимого для выпрессовки отформованного изделия из матрицы от параметров смеси и размеров формуемого изделия;
- получены зависимости необходимого количества циклов от начала работы до установившегося режима и стабилизации давления прессования от параметров формуемой смеси и изделия.

Помимо рассмотренных вопросов, в задачи экспериментальных исследований процесса экструзивного формования изделий входило

определение прочности свежеотформованного образца и сырьев  
строительного кирпича со сквозными отверстиями. Для реализации этой  
задачи, в соответствии с требованиями испытания образцов на прочность,  
были отформованы изделия из смесей с разными значениями влажности и  
при разных значениях удельного давления прессования. Полученные  
образцы сырьев изделий сразу подвергались испытанию на прочность.  
Результаты испытаний свежеотформованных изделий на прочность  
представлены в виде зависимости на рис. 2. 21. Как показали результаты  
экспериментальных исследований, прочность свежеотформованного изделия  
зависит от множества факторов, при этом определяющими являются,  
влажность формируемой смеси и удельное давление прессования.

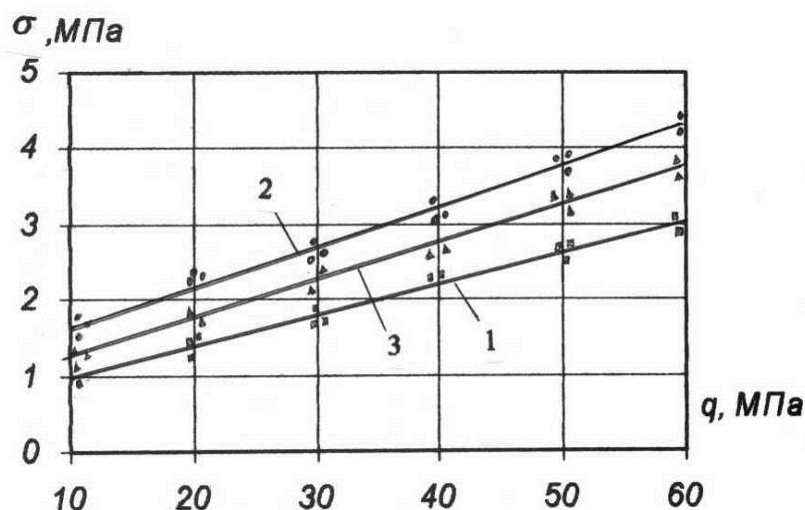


Рис. 2.21. Зависимость прочности свежеотформованного изделия от удельного давления прессования

Установлено, что влажность существенным образом влияет на прочность свежеотформованного изделия. При повышении влажности до определенного значения прочность изделия увеличивается. Это связано с тем, что с повышением влажности смеси внутренние связи снижаются. При дальнейшем увеличении влажности прочность изделия начинает снижаться. В связи с этим наибольшая степень уплотнения, соответственно и прочность, при прочих равных условиях достигается при влажности формируемой смеси



равным 8-10%. Приведенные на рис. 2.21 зависимости построены соответственно при влажности формуемой смеси: 1 –  $W = 4\%$ ; 2 –  $W = 8\%$ ; 3 –  $W = 12\%$ . Как видно из приведенных графиков, с точки зрения прочности свежесформованного изделия, наибольшая прочность при фиксированном значении удельного давления прессования, достигается при влажности  $W = 8-10\%$ .

Таким образом, результаты экспериментальных исследований процесса экструзивного формования изделий из полусухой смеси показывает, что полученные при теоретических исследованиях зависимости: распределение давления прессования на уплотнение смеси и преодоление силы трения смеси об стенки пресс-формы, уравнение прессования и выпрессовки сформованного изделия достаточно точно описывают процессы, происходящие при выполнении этих операций. Результаты экспериментальных и теоретических исследований имеют удовлетворительную сходимость, в численном отношении расхождение не превышает 18%.

## **2.6. Заключение по главе 2.**

1. Предложен принципиально новый экструзивный способ полусухого формования строительных изделий, в котором в качестве опорной поверхности для формования очередного изделия используются силы трения между сформованными изделиями на предыдущих циклах и стенками матрицы.

2. Получены зависимости, описывающие распределение единичного давления прессования на уплотнение формуемой смеси и на преодоление силы трения между формуемым изделием и стенками матрицы.

3. Разработана расчетная схема и математическая модель процесса экструзивного формования строительного кирпича не сквозными и с сквозными пустотными отверстиями из полусухой смеси.





4. Результаты исследования математической модели свидетельствуют, что полученные зависимости в процессе математического моделирования правильно описывают физико-механические процессы, протекающие при экструзивном формовании изделий, и могут быть использованы для определения и обоснования параметров экструзивного прессового оборудования.

5. Оценка адекватности результатов теоретических и экспериментальных исследований процесса экструзивного формования строительных изделий из полусухой смеси дают удовлетворительную сходимость, максимальное расхождение не превышает 18 %.



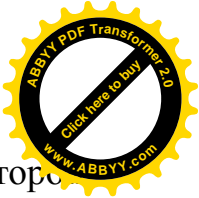


## **ГЛАВА 3. ЭКСТРУЗИВНОЕ ПРЕССОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНОГО КИРПИЧА ПОЛУСУХИМ СПОСОБОМ ФОРМОВАНИЯ**

### **3.1 Устройство и принцип действия экструзивного прессового оборудования для производства строительного кирпича полусухим способом формования**

Особенность экструзивного формования строительного кирпича из полусухой смеси заключается в том, что в качестве опорной поверхности для формования очередного изделия используется сила трения между отформованными изделиями на предыдущих циклах и стенками матрицы и пустотообразователей [3, 11, 12, 14, 15, 16]. Это, в свою очередь, позволяет исключить холостые перемещения прессующего пуансона между процессом прессования изделия и его выпрессовкой, в результате чего сокращается время цикла и повышается производительность прессового оборудования на 20%-25%. В связи с этим на основе синтеза результатов теоретических и экспериментальных исследований, полученных при исследовании процесса экструзивного способа формования изделий из полусухой смеси разработано и создано экструзивное прессовое оборудование для производства строительного кирпича из полусухой смеси.

Принципиальная схема экструзивного прессового оборудования для полусухого формования строительного кирпича со сквозными пустотными отверстиями представлена на рис. 3.1, которая рассчитана на формование нескольких изделий одновременно за один цикл. Экструзивное прессовое оборудование включает в себя неподвижную матрицу 1, установленную на раме 2, подвижную матрицу 3, закрепленную на верхних концах тяг 4, которые в свою очередь установлены, возможностью вертикального перемещения, на направляющих 5. При этом последние, закреплены на раме

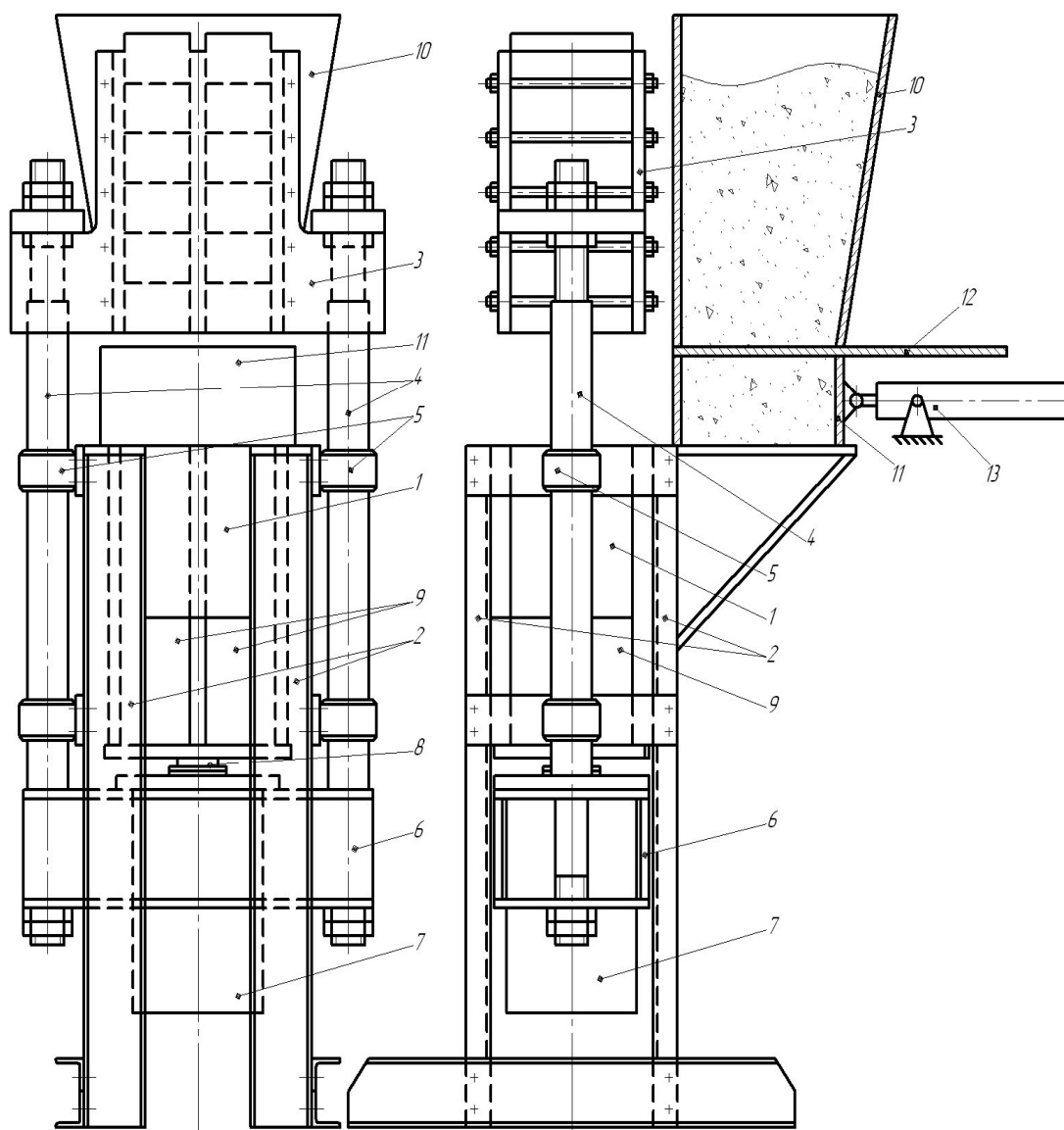


2, а нижние концы тяг 4 жестко закреплены к траверсу 6, на котором закреплен корпус прессующего гидроцилиндра 7, шток 8 которого соединен с прессующими пуансонами 9 неподвижной матрицы 1. Кроме этого, экструзивное прессовое оборудование содержит механизм загрузки смеси, включающий в себя бункер 10, каретку 11 с отсекателем 12 и приводным гидроцилиндром 13.

Для загрузки смеси в матрицу 1 включается гидроцилиндр 13 управления кареткой 11, при этом последний, перемещаясь над матрицей 1, заполняет его полости смесью. В этот момент выходное отверстие бункера 10 закрывается отсекателем 12. Затем при переключении гидрораспределителя управления гидроцилиндром 13 каретка 11 возвращается в исходное положение. Далее верхний торец неподвижной матрицы закрывается заслонкой (на схеме заслонка не показано). Заслонка представляет собой съемную пластину, которая устанавливается на верхнем торце неподвижной матрицы 1, и прижимается во время прессования изделий, подвижной матрицей 3.

При включении прессующего гидроцилиндра 7 рабочая жидкость подается в поршневую полость и при выдвигении штока подвижная матрица 3 опускаясь, прижимает заслонку к верхнему торцу неподвижной матрицы 1, а пуансоны 9 поднимаясь вверх, осуществляют прессование изделий в полостях матрицы 1, ограниченных стенками матрицы, торцом пуансонов 9 и заслонкой. При достижении требуемого удельного давления прессования или хода штока прессующего гидроцилиндра 7, в зависимости от выбранной схемы управления прессующим гидроцилиндром 7, гидрораспределитель переключается, и рабочая жидкость начинает поступать в его штоковую полость. Втягивание штока гидроцилиндра 7 приводит к опусканию пуансонов и с момента касания их упоров начинается подъем подвижной матрицы 3. Затем снимается заслонка и прессующий гидроцилиндр 7 в режим прессования, в результате этого сначала подвижная матрица 3 опускается и упирается торцом в неподвижную матрицу 1, а затем

начинают подниматься пуансоны 9 и осуществляют выпрессовку отформованных изделий из неподвижной матрицы 1 с последующей запрессовкой отформованных изделий в подвижную матрицу 3. Далее гидрораспределитель управления прессующим гидроцилиндром 7 переключается, и рабочая жидкость подается в штоковую полость. С началом вытягивания штока прессующие пуансоны опускаются, и момента достижения ограничителей начинается подъем подвижной матрицы 3 вместе с отформованными изделиями, находящимися в ней. При достижении требуемой высоты подъема подвижной матрицы 3 гидрораспределитель управления гидроцилиндром 7 выключается и на этом завершается первый цикл.



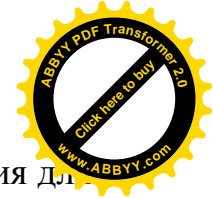


Рис. 3.1. Принципиальная схема экструзивного прессового оборудования для формирования строительного кирпича

Последовательность выполнения всех операций на втором цикле аналогично первому, т. е. при помощи механизма загрузки смеси, полости неподвижной матрицы 1 заполняются смесью из бункера 10, выходные отверстия подвижной матрицы 1 закрываются заслонкой и включением прессующего гидроцилиндра 7 осуществляется прессование изделий в неподвижной матрице 1. После этих операций заслонка снимается, и отформованные изделия выпрессовываются из неподвижной матрицы 1 и запрессовываются в подвижную матрицу 3. Далее начинается новый цикл до тех пор, пока полости подвижной матрицы 3 не будут полностью заполнены отформованными изделиями. До полного заполнения полостей подвижной матрицы 3 давление прессования будет постепенно повышаться, а при полном заполнении наступит стабилизация давления прессования. Это связано с тем, что по мере увеличения количества изделий в полостях подвижной матрице 3 будет и повышаться значение силы необходимого для перемещения отформованных изделий внутри подвижной матрицы 3, соответственно будет и увеличиваться значение давления прессования. При полном заполнении произойдет стабилизация суммарной силы трения между отформованными изделиями и стенками матрицы 3, что в свою очередь приведет к стабилизации давления прессования. В последующих циклах, давление прессования сначала будет повышаться, а затем по мере выхода очередного изделия из полости подвижной матрицы 3 будет снижаться до значения в начале цикла.

После заполнения полости подвижной матрицы отформованными изделиями и стабилизации давления процесс прессования изделий в последующих циклах будет осуществляться без использования заслонки. При этом в функцию опорной поверхности (опорной реакции) будет выполнять суммарная сила трения между отформованными изделиями и стенками подвижной матрицы 3.



Таким образом, при экструзивном формовании в начале работы прессового оборудования процесс формования изделий осуществляется при помощи заслонки, а после заполнения полостей подвижной матрицы отформованными изделиями и формирования достаточной, для прессования изделий давления, процесс прессования изделий осуществляется за счет суммарной силы трения между изделиями в подвижной матрице и его стенками. В результате этого, в отличие от традиционной схемы полусухого формования изделий, при экструзивном формовании изделий из полусухой смеси, за счет исключения движения прессующего пуансона в обратном направлении перед выпрессовкой отформованного изделия сокращается время цикла, соответственно повышается производительность прессового оборудования. Принципиальная новизна разработанного экструзивного прессового оборудования вызывает необходимость кинематического и динамического анализа.

### **3.2. Математическое моделирование и исследование экструзивного прессового оборудования**

Экструзивное прессовое оборудование для производства строительного кирпича является динамической системой, и, как известно, для исследования любой динамической системы необходимо составить математическое описание протекающих в них физических процессов, иначе говоря, составить математическую модель работы экструзивного прессового оборудования [17,18]. При этом для упрощения математического моделирования и исследования рассматриваемую динамическую систему, в соответствии с функциональным назначением условно можно разделить на две подсистемы: прессующий механизм и механизм загрузки смеси. На рис. 3.2, *а)* и *б)* представлена расчетная схема для исследования кинематики и динамики прессующего механизма экструзивного прессового оборудования. На рис. 3.2 *а)* изображена расчетная схема экструзивного прессового оборудования (вид

спереди в разрезе), а на рис. 3.2 б) – тоже самая (вид сбоку с механизмом загрузки смеси в разрезе).

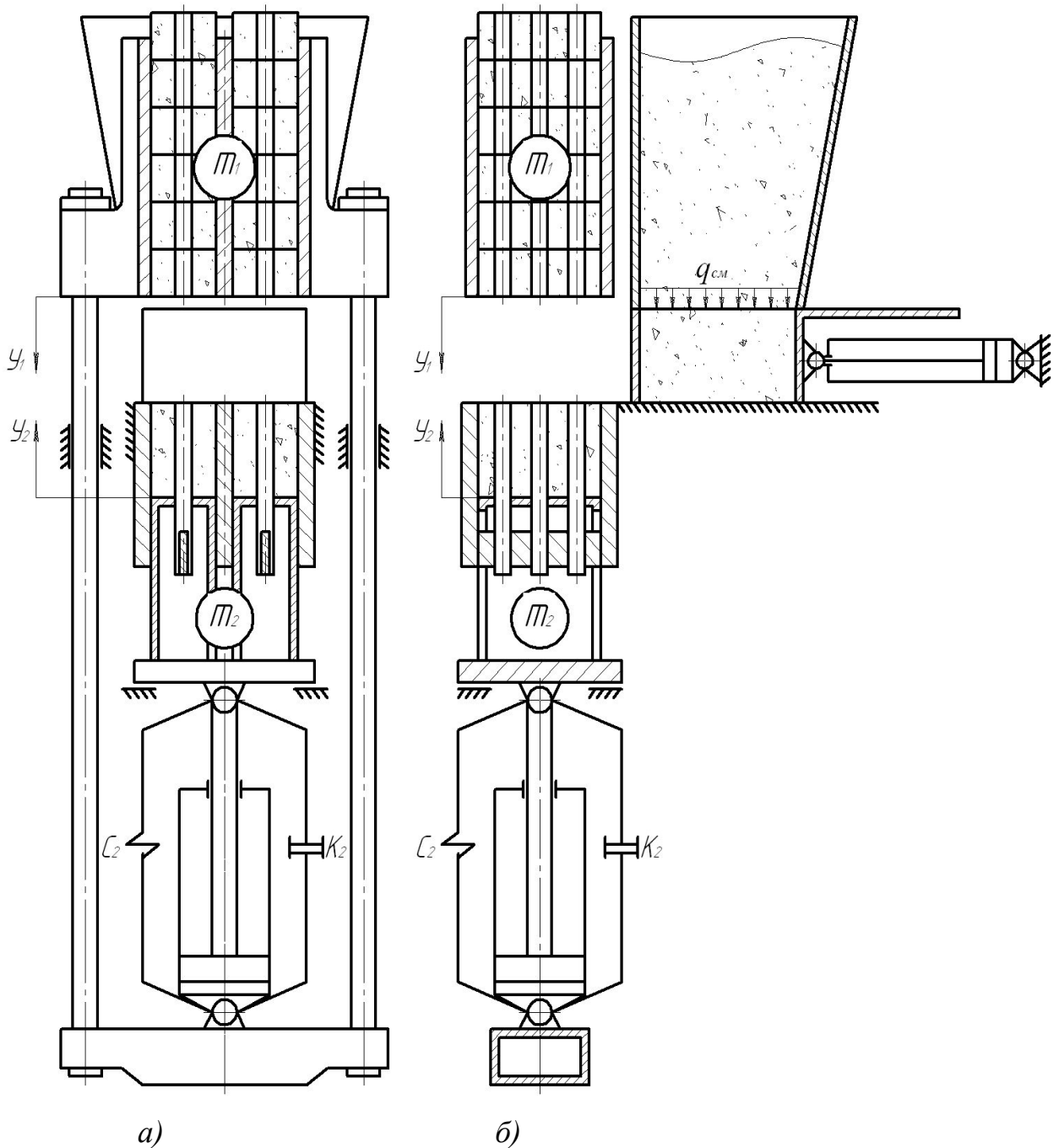


Рис. 3.2. Расчетная схема механизма прессования экструзивного прессового оборудования

Для математического моделирования и исследования кинематики и динамики разработанного прессового оборудования, примем следующие допущения, которые не вносят искажений в действительную картину



физических процессов, протекающих при работе прессующего механизма экструзивного прессового оборудования:

- силы трения в направляющих тяг, соединяющие подвижную матрицу с нижней траверсой и между прессующим пуансоном и неподвижной матрицей отсутствует;

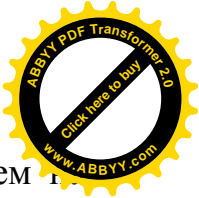
- нижняя траверса абсолютно жесткая, и прогиб в ней отсутствует, изменение длин тяг, под действием усилия прессования пренебрежимо мала.

Допущение об отсутствии сил трения в направляющих тяг и между прессующими пуансонами и матрицей было принято на основании того, что их значение по сравнению с движущей силой на несколько порядков меньше, поэтому ими можно пренебречь [19]. Отсутствие удлинение тяг и прогиба траверсы принято из-за того, что суммарное отклонение вертикального положения прессующего пуансона, в результате удлинения тяг и прогиба траверсы, составляет около одного миллиметра, в тоже время перемещение штока прессующего пуансона составляет десятки сантиметров, поэтому удлинением тяг и прогибом траверсы можно пренебречь [20, 21].

Расчетная схема для математического моделирования работа прессующего механизма представлена на рис. 3.2. При этом работа прессующего механизма принято установившимся, а давление прессования стабилизированным.

Прямой ход прессующего гидроцилиндра в процессе работы механизма прессования можно условно разбито на два характерных участка. Первый участок – с начало опускания подвижного пуансона и до соприкосновения его торца с верхним торцом неподвижного пуансона. На этом участке сила тяжести подвижного пуансона способствует его перемещению, и дополнительных усилий со стороны прессующего гидроцилиндра не требуется. Второй участок – начинается с момента касания подвижного и неподвижного пуансонов торцами между собой до полной запрессовки отформованного изделия в неподвижной матрице в полость подвижной матрицы. На этом участке усилие, развиваемое прессующим





гидроцилиндром, затрачивается, сначала, на уплотнение смеси, а затем на перемещение отформованных изделий внутри неподвижной и подвижной матрицах. В процессе математического моделирования в качестве исходного взаиморасположения элементов механизма прессования принято такое положение, в котором подвижная матрица находится в крайнем верхнем положении, а прессующий пуансон в крайнем нижнем положении.

В соответствии с расчетной схемой рис. 3.2 и принятыми допущениями уравнения динамического равновесия сосредоточенных масс  $m_1$  и  $m_2$  при выдвигании штока прессующего гидроцилиндра экструзивного прессового оборудования можно записать в виде

$$m_1 \ddot{y}_1 - m_1 g + k_1 \dot{y}_1 + q F n + S = 0; \quad (3.1)$$

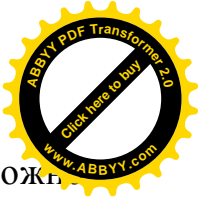
$$m_2 \ddot{y}_2 + m_2 g + k_2 \dot{y}_2 + q F n + S = 0, \quad (3.2)$$

где,  $\ddot{y}_1$ ,  $\ddot{y}_2$  и  $\dot{y}_1$ ,  $\dot{y}_2$  - соответственно ускорение и скорость движения сосредоточенных масс  $m_1$  и  $m_2$ ;  $k_1$  и  $k_2$  - вязкое сопротивление перемещения сосредоточенных масс  $m_1$  и  $m_2$ ;  $g$  - ускорение силы тяжести;  $F$  - площадь поверхности прессования формуемого изделия;  $S$  - усилие, развиваемое прессующим гидроцилиндром.

Для определения зависимости относительной деформации формуемой смеси от удельного давления прессования можно воспользоваться уравнением (1.18), которое приведено в параграфе 1.3. Решая данное уравнение относительно удельного давления прессования, получим

$$q = - \frac{\ln \left| 1 - \frac{\Delta h}{\Delta h_{np}} \right|}{\mu R}, \quad (3.3)$$

где,  $\Delta h$  - относительная деформация формуемой смеси;  $\Delta h_{np}$  - предельный коэффициент относительной деформации, определяемый по уравнению (1.17);  $\mu$  - коэффициент, зависящий от параметров формуемой смеси, а его значение определяется экспериментально.



В процессе уплотнения смеси его относительную деформацию можно определить как величины деформации смеси к его первоначальной высоте, т. е. глубине загрузки смеси в матрице.

$$\Delta h = h_0 / h_3 \quad (3.4)$$

Усилие, развиваемое прессующим гидроцилиндром при прямом и обратном ходе штока, определяется соответственно следующими уравнениями

$$S = \frac{\pi d_n^2}{4} [p_n - (1 - k^2) p_c], \quad (3.5)$$

$$S^* = \frac{\pi d_n^2}{4} [p_n (1 - k^2) - p_c], \quad (3.6)$$

где,  $d_n$  – диаметр поршня прессующего гидроцилиндра;  $p_n$  – давление жидкости в напорной магистрали;  $p_c$  – давление жидкости в сливной магистрали;  $k$  – коэффициент, учитывающий соотношение диаметров поршня и штока прессующего гидроцилиндра.

Текущее значение давления в полостях прессующего гидроцилиндра в процессе прямого и обратного хода штока может быть определена решением следующих уравнений

$$p_n = \frac{4 Q_{\dot{u}} - \pi d_n^2 \dot{x}}{4 k_{упр}}, \quad (3.7)$$

$$p_n = \frac{4 Q_{\dot{u}} - \pi d_n^2 \dot{x} (1 - k^2)}{4 k_{упр}}, \quad (3.8)$$

где,  $Q_{\dot{u}}$  – расход жидкости, поступающий в полости прессующего гидроцилиндра;  $\dot{x}$  – скорость перемещения штока прессующего гидроцилиндра при прямом ходе;  $k_{упр}$  – коэффициент упругости полости гидроцилиндра с рабочей жидкостью;  $\dot{p}_n$  – скорость изменения давления в напорной магистрали гидросистемы.



Значение коэффициента упругости полостей прессующего гидроцилиндра зависит от многих параметров и при допущениях, что в крайних положениях поршня гидроцилиндра отсутствует «мертвый» объем жидкости в его полостях, а трубопроводы достаточно короткие, коэффициент упругости поршневой и штоковой полостей прессующего гидроцилиндра может быть определены следующими уравнениями

$$k_{упр} = \frac{\pi d_n^2 z_m}{4 E_{ж}}; \quad (3.9)$$

$$k_{упр}^* = \frac{\pi d_n^2 z_m^* (1 - k^2)}{4 E_{ж}}, \quad (3.10)$$

где,  $z_m$  и  $z_m^*$  - текущее значение перемещения штока прессующего гидроцилиндра при его прямом и обратном ходе;  $E_{ж}$  – объемный модуль упругости рабочей жидкости.

Усилие, развиваемое прессующим гидроцилиндром, как при выдвигании штока, так и при втягивании штока, одновременно воздействует на сосредоточенные массы  $m_1$  и  $m_2$ . При этом из-за того, что сосредоточенная масса  $m_2$  в несколько раз больше, чем сосредоточенная масса  $m_1$ , во время прямого хода штока сначала перемещение начинает сосредоточенная масса  $m_1$ , а затем сосредоточенная масса  $m_2$ . При втягивании штока прессующего гидроцилиндра сначала опускается сосредоточенная масса  $m_1$  до упора, а затем начинается подъем сосредоточенной массы  $m_2$ .

Уравнения динамического равновесия сосредоточенных масс  $m_1$  и  $m_2$  при втягивании штока прессующего гидроцилиндра аналогично уравнениям (3.1) и (3.2), описывающие динамическое равновесие при выдвигании штока прессующего гидроцилиндра, могут быть описаны следующими уравнениями.

$$m_1 \ddot{y}_1 + m_1 g + k_1 \dot{y}_1 S^* = 0; \quad (3.11)$$

$$m_2 \ddot{y}_2 - m_2 g + k_2 \dot{y}_2 - S^* = 0. \quad (3.12)$$

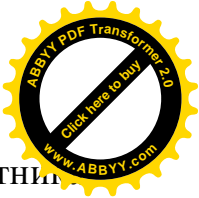


Таким образом, приведенная выше система дифференциальных и алгебраических уравнений, описывает работу прессующего механизма экструзивного прессового оборудования. В тоже время для численного расчета и исследования математической модели механизма прессования математическая модель должна быть дополнена уравнениями, описывающие работу гидравлического привода.

На рис. 3.3 представлена принципиальная схема гидравлического привода экструзивного прессового оборудования для производства строительного кирпича. Гидравлический привод экструзивного прессового оборудования включает в себя гидронасос 1 с электродвигателем, гидравлический бак 2, манометр 3, двухкаскадные четырехлинейные трехпозиционные электроуправляемые гидрораспределители 4 и 5, предназначенные соответственно для управления прессующим гидроцилиндром 6 и гидроцилиндром 7 управления кареткой механизма загрузки смеси в матрицу. Кроме этого, гидравлический привод прессового оборудования снабжен предохранительным клапаном 8 и фильтром 9.

Для математического моделирования гидравлического привода и элементов системы управления и регулирования приняты следующие допущения:

- модуль упругости, вязкость и температура рабочей жидкости в течение одного цикла работы прессового оборудования величины постоянные;
- волновые процессы в гидравлических магистралях, в связи с их относительно малой длины, не оказывает существенного влияния на работу гидравлического привода;
- гидравлические потери давления по длине трубопроводов пренебрежимо малы по сравнению с потерями в местных сопротивлениях;
- частота вращения вала гидронасоса постоянна;
- нерастворенный воздух в рабочей жидкости отсутствует;



- благодаря малой массе и отсутствию перекрытия золотник  
вспомогательного каскада гидрораспределителя управления прессующим  
гидроцилиндром переключение происходит мгновенно.

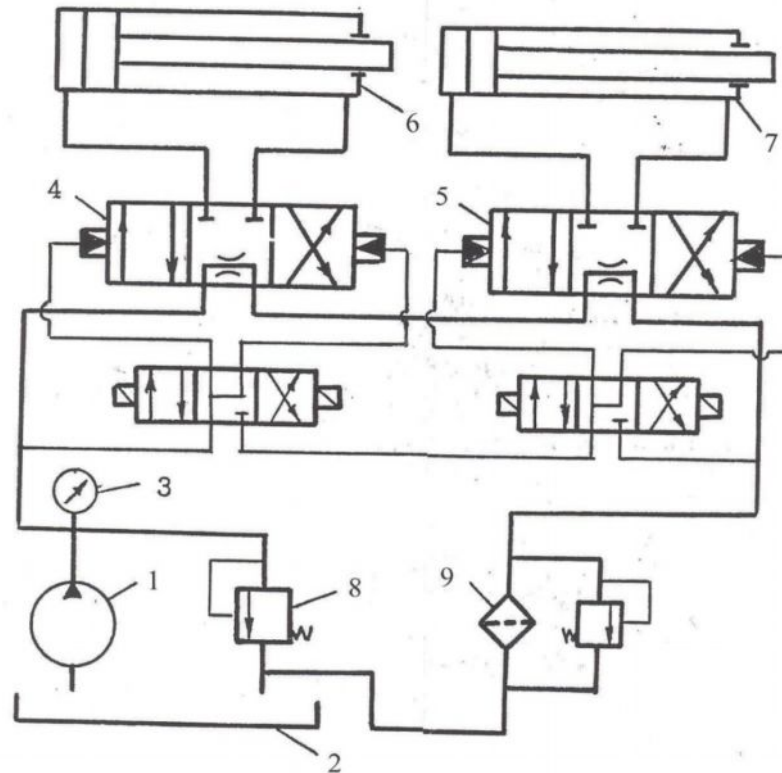


Рис. 3.3. Принципиальная схема гидравлического привода экструзивного  
прессового оборудования

Расход жидкости, поступающий в полости прессующего  
гидроцилиндра при включении гидрораспределителя, с учетом принятых  
допущений и условия неразрывности потока жидкости можно определить  
следующим выражением

$$\text{при } 0 < x_3 < \delta_3, \quad Q_{ц} = 0; \quad (3.13)$$

$$\text{при } 0 < x_3 < \delta_3, \quad Q_{ц} = Q_{н} - Q_{р} - Q_{упр} - Q_{кл} - Q_{ут}, - Q_{сж}, \quad (3.14)$$

где,  $\delta_3$ —величина перекрытия золотника;  $Q_{ц}$  — расход жидкости, поступающей  
в рабочую полость прессующего гидроцилиндра;  $Q_{н}$ —фактическая  
производительность насоса;  $Q_{р}$ —расход жидкости, затрачиваемой на  
переключение золотника основного каскада гидрораспределителя;  $Q_{упр}$ —

расход жидкости, обусловленный упругостью трубопроводов;  $Q_{np}$  – расход жидкости, поступающей на слив через предохранительный клапан;  $Q_{ум}$  – суммарная утечка жидкости в системе;  $Q_{сж}$  – расход жидкости, обусловленный ее сжимаемостью;  $x_3$  – перемещение золотника основного каскада гидрораспределителя управления прессующим гидроцилиндром.

Фактическая производительность гидронасоса может быть определена как разница между теоретической производительностью гидронасоса и утечками, обусловленными объемным КПД

$$Q_n = Q_m - \Delta Q_n = q_n n (1 - \mu) \frac{p_m}{p_n}, \quad (3.15)$$

где,  $Q_m$  – теоретическая производительность гидронасоса;  $q_n$  – рабочий объем гидронасоса;  $n$  – частота вращения вала гидронасоса;  $\mu$  – объемный КПД гидронасоса;  $p_m$  – текущее значение давления в напорной магистрали;  $p_n$  – номинальное давление в гидросистеме, при котором обеспечивается КПД указанный в технической характеристике гидронасоса.

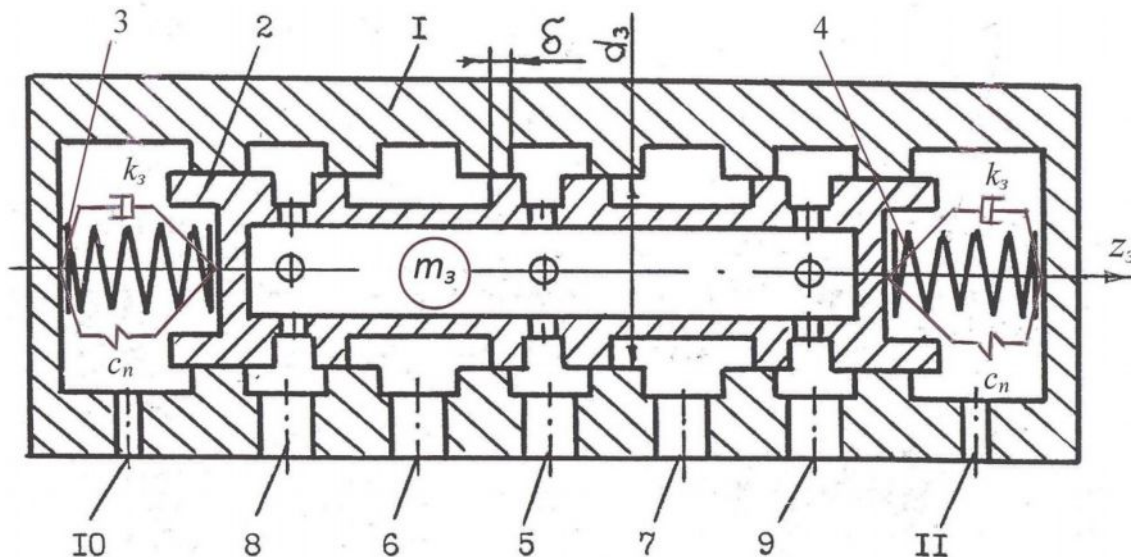
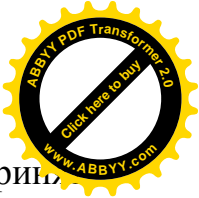


Рис. 3.4. Расчетная схема гидрораспределителя управления прессующим гидроцилиндром

Расход жидкости через гидрораспределитель определяется перемещением его золотника. Поэтому для конкретизации, в качестве



гидрораспределителя управления прессующим гидроцилиндром, был принят четырехлинейный трехпозиционный электроуправляемый гидрораспределитель марки РХ 206430000 – 36/00 АМ. Расчетная схема гидрораспределителя представлена на рис. 3.4.

Гидрораспределитель включает в себя корпус 1 с золотником 2 и торцовыми пружинами 3 и 4. Корпус 1 содержит напорный 5, рабочие 6 и 7, сливные 8 и 9 и управляющие 10 и 11 каналы. Золотник гидрораспределителя выполнен полой с проточной схемой разгрузки гидронасоса.

Уравнение движения золотника гидрораспределителя при перемещении под воздействием управляющего давления жидкости на торцах золотника, можно записать в следующем виде

$$m_3 \ddot{z}_i + k \dot{z}_i + R \operatorname{sgn} z + c(z_o - z_i) - c(z_i + z_o) + 0,25 \pi d_3^2 (p_n - p_{cl}) = 0, \quad (3.16)$$

где,  $m_3$  – масса золотника основного каскада гидрораспределителя;

$z_i, \dot{z}_i, \ddot{z}_i$  – соответственно перемещение, скорость и ускорение золотника гидрораспределителя при движении вправо или влево;  $d_3$  – диаметр золотника гидрораспределителя;  $c$  – жесткость торцевых пружин золотника;  $z_o$  – предварительное сжатие торцевых пружин.

Расход жидкости, поступающий в полости прессующего гидроцилиндра, через гидрораспределитель определяется выражением

$$Q_u = \mu f(z) \sqrt{2 | p_n - p_u | / \rho} \cdot \operatorname{sgn} (p_n - p_u), \quad (3.17)$$

где,  $f(z)$  – площадь сечения канала гидрораспределителя, сообщающего напорную магистраль с рабочей полостью прессующего гидроцилиндра;  $p_u$  – давление жидкости в рабочей полости исполнительного гидроцилиндра.

Площадь сечения канала гидрораспределителя, сообщающего напорную магистраль с рабочей полостью прессующего гидроцилиндра, определяется величиной перекрытия кромок золотника, его диаметром и перемещением. Математически это можно записать в следующем виде





$$f(z) = \pi d_3^2 (z_i - \delta), \quad (3.18)$$

где,  $\delta$  - величина перекрытия кромок золотника.

Расход рабочей жидкости, затрачиваемый на переключение золотника гидрораспределителя, определяется скоростью перемещения золотника и площадью поперечного сечения золотника

$$Q_p = 0,25 \pi d_3^2 \dot{z}_i. \quad (3.19)$$

Расход жидкости, обусловленный упругостью трубопроводов, можно определить следующим выражением

$$Q_{упр} = \frac{\pi d_i^2 \ell_i d p}{4 E_{np} d t}, \quad (3.20)$$

где,  $d_i$ —диаметр трубопровода, соединяющего исполнительный гидроцилиндр с гидронасосом;  $\ell_i$ —суммарная длина трубопроводов, соединяющих гидронасос с гидрораспределителем и последний с соответствующим гидроцилиндром;  $E_{np}$ —приведенный объемный модуль упругости трубопровода с жидкостью.

Приведенный объемный модуль упругости трубопровода с рабочей жидкостью зависит от геометрических размеров трубопровода и модуля упругости материала, из которого изготовлен трубопровод [22,23].

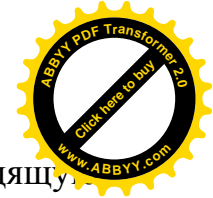
$$E_{np} = \frac{E_{жс} E_{ст} \delta_{ст}}{E_{ст} \delta_{ст} + E_{жс} d_{тр}}, \quad (3.21)$$

где,  $E_{np}$  – модуль упругости материала стенки трубопровода;  $\delta_{ст}$  – толщина стенки трубопровода.

Расход жидкости через предохранительный клапан определяется следующим выражением:

$$Q_{кл} = \mu f(x) \sqrt{2(p_n - p_{сл}) / \rho}, \quad (3.22)$$

где,  $f(x)$  – площадь сечения канала, соединяющего подводящую и отводящую полости предохранительного клапана между собой.



Площадь сечения канала, сообщающего подводящую и отводящую полости между собой, можно определить уравнениями

$$\text{при } 0 < x_3 < \delta_1, \quad f(x) = 0; \quad (3.23)$$

$$\text{при } \delta_1 < x_3 < \delta_{\max}, \quad f(x) = \pi d_3 (x - \delta_1), \quad (3.24)$$

где,  $\delta_1$  – величина перекрытия золотника предохранительного клапана.

Расход жидкости, обусловленный утечками через сопрягающие поверхности поршня и цилиндра, а также внутренними утечками через гидрораспределитель, с учетом принятого допущения о постоянстве вязкости рабочей жидкости, можно определить как функция от перепада давления на этих элементах гидравлического привода [17, 24, 25, 26]

$$Q_{yt} = k_{yt} \Delta p, \quad (3.25)$$

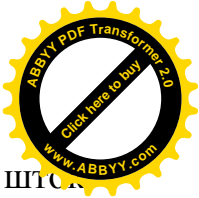
где,  $k_{yt}$  – коэффициент суммарных утечек;  $\Delta p$  – перепад давления на поршне гидроцилиндра и на запорно-регулирующем элементе гидрораспределителя.

Таким образом, система уравнений (3.13) ... (3.25) описывают работу гидравлической системы управления и совместно с уравнениями (3.1) ... (3.12), описывающими динамическое равновесие сосредоточенных масс позволяет исследовать кинематику и динамику механизма прессования экструзивного прессового оборудования для производства строительного кирпича [29, 30, 31].

Исследование математической модели прессующего механизма экструзивного прессового оборудования проводилось численным методом на ПЭВМ. Для этого был разработан специальный алгоритм и программа расчета [28, 34].

При исследовании математической модели в качестве варьируемых параметров были приняты: расход гидронасоса, удельное давление прессования, глубина загрузки смеси в неподвижной матрице, вес сосредоточенных масс, значение произведения коэффициентов бокового распора и трения смеси об стенки матрицы.

Диапазон варьирования значения расхода гидронасоса, в процессе исследования математической модели механизма прессования, составил от



$8,3 \cdot 10^{-5}$  м/с до  $1,4 \cdot 10^{-3}$  м<sup>3</sup>/с. При таких значениях расхода гидронасоса, штока прессыющего гидроцилиндра будет выдвигаться, соответственно со скоростью 0,0016 м/с и 0,0251 м/с. В случае втягивания штока прессыющего гидроцилиндра, скорость его перемещение будет изменятся от 0,0026 м/с до 0,0394 м/с.

Для определения времени, затрачиваемого на процесс прессыования изделия и возвращения прессыющего пуансона в исходное положение, должны быть заданы параметры прессыющего гидроцилиндра, а именно диаметры поршня и штока, и ход штока. В расчетах были приняты следующие параметры прессыющего гидроцилиндра: диаметры поршня и штока соответственно, равными  $d_n = 0,26$  м;  $d_{ш} = 0,26$  м, а ход штока  $l = 0,4$  м.

При таких параметрах прессыющего гидроцилиндра и скоростях перемещения штока прессыющего гидроцилиндра, время, затрачиваемое на перемещение штока прессыющего гидроцилиндра с пуансоном для прессыования изделия и возврата их в исходное положение соответственно, составят 242 и 3,96 секунды при выдвигении штока и 150, 36 и 9,4 секунды. Суммарное время, затрачиваемое на процесс прессыования формуемого изделия, составят, соответственно 392,36 и 13, 6 секунды.

Анализ результатов исследования математической модели показывает, что кинематическая особенность экструзивного прессыового оборудования, а именно сила тяжести подвижной матрицы способствует снижению динамической составляющей в общем сопротивлении перемещению прессыющего пуансона. Такая особенность объясняется тем, что в начале работы механизма прессыования при подаче рабочей жидкости в поршневую полость прессыющего гидроцилиндра сила тяжести сосредоточенной массы  $m_1$  способствует его движению. При этом сосредоточенная масса  $m_2$  неподвижна и прессыующий гидроцилиндр перемещает только сосредоточенную массу  $m_1$ . Движение сосредоточенной массы  $m_2$  начинается в конце процесса прессыования изделия. В тоже время, в конце процесса



прессования скорость и ускорение сосредоточенных масс  $m_1$  и  $m_2$  тогда уменьшается и стремится к нулю.

В процессе исследования динамики механизма прессования установлено, что при прочих равных условиях перерегулирование давления жидкости в напорной магистрали во время движения сосредоточенной массы  $m_1$  при обратном ходе прессующего гидроцилиндра в 1,6 раза выше, чем при прямом ходе, а для сосредоточенной массы  $m_2$  этот показатель составляет 1,2... 1,25 раза. Это объясняется тем, что при перемещении сосредоточенной массы  $m_2$  удельный вес сопротивления, обусловленное сопротивлением смеси при его деформации преобладает над инерционным сопротивлением сосредоточенной массы  $m_2$ .

Таким образом, результаты исследования математической модели механизма прессования экструзивного прессового оборудования показывают, что коэффициент динамичности, определяемый как отношение инерционной составляющей сопротивления перемещению сосредоточенной массы к общему суммарному сопротивлению движения, в зависимости от направления движения сосредоточенных масс изменяется в диапазоне от 1,2 до 1,6. В тоже время для таких механизмов как механизм прессования прессового оборудования полученные значения коэффициента динамичности вполне приемлемо.

### **3.3. Исследование математической модели рабочего процесса экструзивного прессового гидравлического оборудования**

Общая динамическая модель экструзивного прессового гидравлического оборудования может быть представлена в виде систем уравнений, описывающих возвратно-поступательное движение сосредоточенных масс под действием внешних сил. Последние, вызывающие движения подвижных элементов пресса, определяются параметрами источника гидравлического питания - расходом и давлением жидкости в



гидравлическом приводе, сопротивлением прессуемой массы. Поэтому закономерности динамики пресса могут быть выявлены при рассмотрении системы «экструзивное прессовое гидравлическое оборудование - прессуемая масса - гидравлический привод».

В процессе работы в экструзивном прессовом гидравлическом оборудовании выполняются следующие операции: загрузка смеси в матрицу, прессование смеси с выпрессовкой отформованного изделия и его съем в приемное устройство. Эти операции соответственно имеют механизмы загрузки смеси, прессования-выпрессовки. Делением системы на подсистемы и последовательным выполнением перечисленных операций в гидравлическом оборудовании составляем математические модели рабочего процесса.

Для исследования математической модели процесса работы механизма загрузки смеси на ЭВЦМ на основе разработанного алгоритма решения задачи составлена программа, основной текст которой представлен в приложении I.

При исследовании динамических характеристик механизма загрузки смеси с помощью математической модели численное решение дифференциальных уравнений проводилось на ЭВЦМ разработкой стандартной программы.

Для решения дифференциальных уравнений указанным методом на ЭВЦМ разработаны стандартные программы, использование которых позволяет значительно упростить решение поставленной задачи.

Численное решение математической модели позволяет получить характеристики протекающего процесса механизма загрузки смеси.

Решение системы дифференциальных и алгебраических уравнений, описывающих процесс работы механизма загрузки смеси, проводилось со следующими начальными условиями:

$$\begin{aligned} \text{при } t = 0: \quad X &= 0; & \dot{X} &= 0; & \ddot{X} &= 0; \\ P_n &= 10 \text{ Н/см}^2; & P_c &= 10 \text{ Н/см}^2. \end{aligned}$$



В процессе исследования динамических характеристик механизма загрузки смеси при постоянных входных данных варьировался расход рабочей жидкости в диапазоне от  $0,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$  до  $2,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$ , что соответствовало скорости перемещения дозатора в диапазоне  $0,1 \dots 0,5 \text{ м/с}$ .

На рис. 3.5 представлен график переходных процессов давления в гидросистеме, полученных при различных значениях расхода рабочей жидкости (скорости), поступающей в рабочую полость гидроцилиндра механизма загрузки смеси.

Из полученных переходных процессов (рис. 3.5) видно, что скорость питателя совершает затухающие колебательные движения.

Время установившегося режима скорости для указанного выше диапазона варьирования расходом рабочей жидкости находилось в пределах от 0,001 секунд до 0,0030 секунд.

При увеличении скорости питателя на 40% время установившегося режима увеличивается на 18%, колебательная система имела более плавный характер перехода в режим.

По результатам численного расчета, полученных с помощью математической модели, определен коэффициент динамичности переходного процесса механизма загрузки смеси в диапазоне варьирования расходом рабочей жидкости.

На рис. 3.6 представлена зависимость изменения коэффициента динамичности от скорости питателя при переходном процессе. Из графика видно, что изменение коэффициента динамичности имеет линейный характер, который прямо пропорционально возрастает с увеличением скорости питателя.

Следует отметить, что при увеличении скорости питателя на 50% величина коэффициента динамичности возросла на 40%, при этом характер изменения коэффициента динамичности может быть аппроксимирован линейной системой исследования. Величина коэффициента динамичности механизма загрузки смеси в диапазоне варьирования составила  $K_d = 2 \div 5$ .



Скорость питателя является главной выходной координатой, характеризующей результаты рабочего процесса механизма загрузки смеси. По результатам исследования математической модели загрузки смеси для рассматриваемого пресса установлено, что скорость питателя, при которой осуществляется загрузки матрицы составила  $v = 0,16$  м/с. При такой скорости питателя время прямого хода составило  $t = 2,1$  с, а при обратном ходе питателя время, затраченное на исходное положение, составило  $t_0 = 1,28$  с.

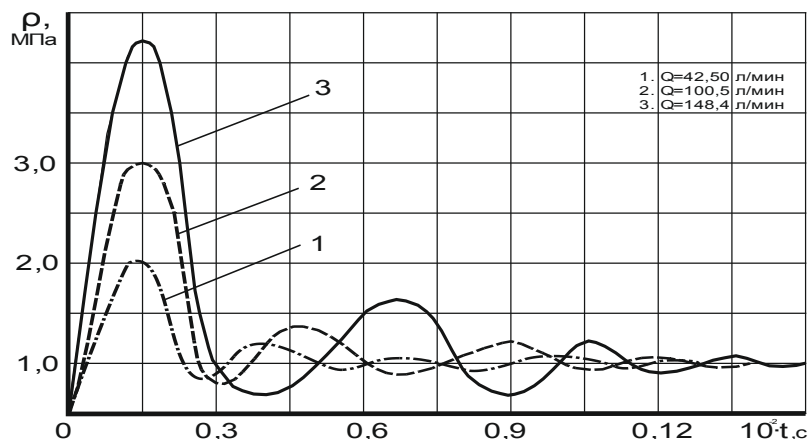


Рис. 3.5. График зависимости изменения переходных процессов давления в гидросистеме от расхода рабочей жидкости, поступающей в рабочую полость гидроцилиндра механизма загрузки

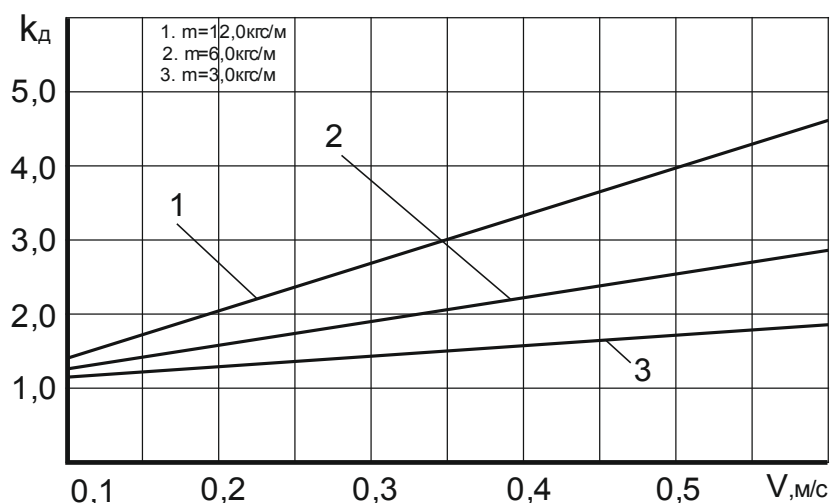
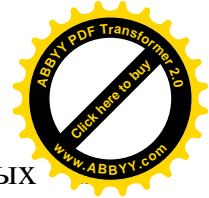


Рис. 3.6. График зависимости изменения коэффициента динамичности от скорости питателя при переходном процессе





Эти результаты получены при следующих конструктивных гидравлических параметрах пресса, а также при установленном параметре смеси:

$Q = 1,2 \cdot 10^{-3}$  м/с - расход жидкости;

$m = 3,0$  кг с<sup>2</sup>/м - масса питателя со смесью;

$F = 50,24$  см<sup>2</sup> - площадь сечения поршня гидроцилиндра;

$E = 1400$  МПа - модуль упругости жидкости;

$j = 1070$  кг/м<sup>3</sup> - объемная масса смеси;

$\mu_1 = 0,3$  - коэффициент трения смеси;

$\tau = 0,344$  кг/см<sup>2</sup> - касательная напряжения среза грунта;

$X_1 = 14$  см - длина 1-го участка;

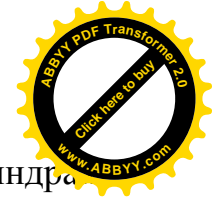
$X_2 = 16$  см - длина 2-го участка;

Анализ результатов исследования математической модели механизма загрузки показывает, минимизация времени протекающего процесса может быть достигнута путем изменения массы питателя и скорости питателя, и тем самым повысить производительность пресса.

### **3.4. Математическая модель процесса прессования и выпрессовки смеси**

При составлении расчетной схемы механизма прессования приняты некоторые допущения, которые не вносят существенных искажений в действительную картину физических процессов, протекающих при работе пресса, заключающихся в следующем:

- силы трения в направляющих тягах и между пуансонами и матрицей отсутствуют;
- верхняя и нижняя траверсы абсолютно жестки, и прогиб в них отсутствует;
- изменение длин тяг под действием нагрузок прессования пренебрежимо мало;



- силы сухого и вязкого трения в исполнительных гидроцилиндрах отсутствуют.

Допущения об отсутствии сил трения приняты на основании того, что сумма сил трения в направляющих тягах, пуансоном и матрицей и в исполнительных гидроцилиндрах на несколько порядков меньше движущей силы, развиваемой исполнительными гидроцилиндрами. Поэтому влияние сил трения на динамику рабочего процесса пресса можно считать не существенным и на стадии выбора и расчета параметров пресса можно им пренебречь.

Допущения об отсутствии прогиба траверс и изменения длин тяг при действии нагрузок прессования приняты на основании того, что суммарный прогиб траверс и изменение длин тяг не превышает 1-1,5 мм. При этом перемещение штоков гидроцилиндров и элементов пресса составляет несколько десятков сантиметров.

После завершения прессования обратный ход штока прессующего гидроцилиндра приводит вначале к опусканию нижних пуансонов до упора, а затем к подъему верхних пуансонов с траверсами вверх. Таким образом, обратный ход штока прессующего гидроцилиндра состоит из двух участков.

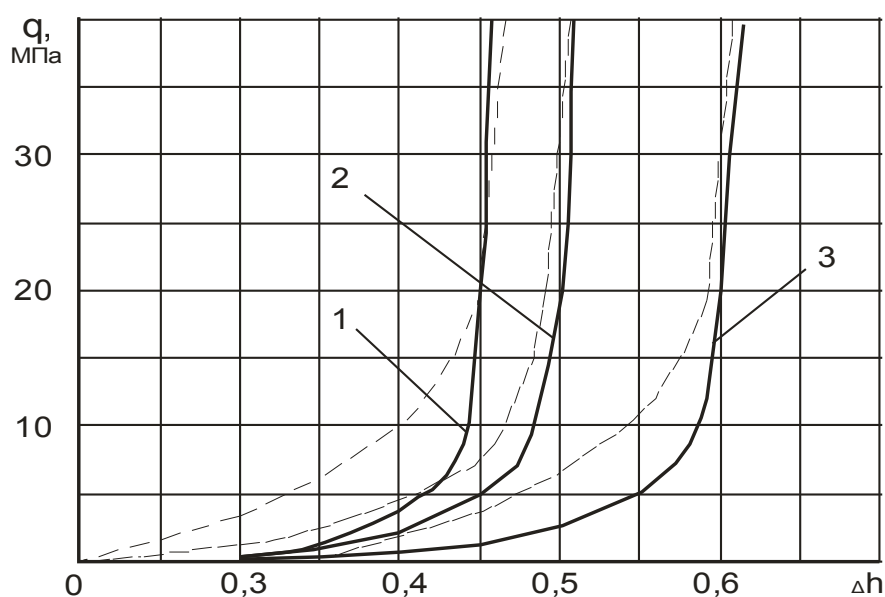


Рис. 3.7. График зависимости удельного сопротивления смеси от относительной деформации смеси при влажности смеси: 1- 4%; 2-8%; 3-12%



Для исследования математической модели механизма прессования смеси на ЭВЦМ, на основе разработанного алгоритмом решения задачи, составлена программа, основной текст которой представлен в приложении I.

Для анализа протекающего процесса механизма прессования, являющегося сложными динамическими нелинейными системами с переменными параметрами, необходимо выполнять исследование численными методами, так как для анализа даже простых систем подобного типа в настоящее время в теории управления не разработано достаточно приемлемых аналитических способов.

Численное решение дифференциальных уравнений второго порядка, описывающее протекающий процесс механизма прессования и выпрессовки на ЭВЦМ, производилось методом Рунге-Кутты. Для решения дифференциальных уравнений указанным методом на ЭВЦМ разработаны стандартные программы, использование которых позволяет значительно упростить решение поставленной задачи.

Численное решение математической модели позволяет получить характеристики, оценивающие протекающий процесс механизма прессования смеси и выпрессовки отформованного изделия.

Решение системы дифференциальных и алгебраических уравнений, описывающих процесс работы механизма прессования смеси, проводилось со следующими начальными условиями:

$$\begin{aligned} \text{при } t=0: \quad z_n=0; \quad \dot{z}=0; \quad \ddot{z}=0. \\ P_H = 10 \text{ Н/см}^2 \quad P_C=10 \text{ Н/см}^2. \end{aligned}$$

В процессе исследования динамических характеристик механизма прессования смеси варьировался расход рабочей жидкости в диапазоне от  $0,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 / \text{с}$  до  $2,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 / \text{с}$ , что соответствовало скорости перемещения штока прессующего гидроцилиндра в диапазоне  $0,1 \dots 0,5 \text{ м/с}$ , при разных значениях удельного давления прессования.

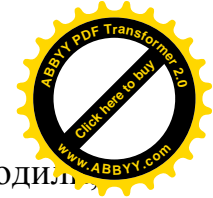


На рис. 3.8 представлен график переходного процесса давления гидросистеме от времени, полученных при различных значениях расхода рабочей жидкости, поступающей в рабочую полость гидроцилиндра механизма прессования. Из полученных переходных процессов (рис. 2.18) видно, что скорость сосредоточенной массы совершают затухающие колебательные движения. Время установившегося режима давления жидкости в гидросистеме для указанного выше диапазона варьирования расходом рабочей жидкости находилось в пределах от 0,0005 секунд до 0,001 секунд. Такое быстрое время установившегося режима механизма прессования вызвано тем, что сосредоточенная масса механизма прессования способствует движению за счет силы тяжести (см. рис. 3.6), т.е. направление силы тяжести сосредоточенной массы совпадает с направлением движения прессования.

По результатам численного расчета, полученного с помощью математической модели, определен коэффициент динамичности переходного процесса механизма прессования в диапазоне варьирования расходом рабочей жидкости.

На рис. 3.8 представлена зависимость изменения коэффициента динамичности при переходном процессе. Из графика видно, что изменение коэффициента динамичности имеет линейный характер, который прямо пропорционально возрастает с увеличением скорости движения сосредоточенной массы механизма прессования.

Следует отметить, что при увеличении скорости сосредоточенной массы механизма прессования на 50% величина коэффициента динамичности возросла на 35 % и при этом характер изменения коэффициента может быть аппроксимирован линейным законом. Величина коэффициента динамичности в диапазоне варьирования расходом рабочей жидкости составила от  $K_d=1,05$  до  $K_d=1,3$ .



Дальнейшее исследование математической модели производил, применяя величину сосредоточенной массы прессующей части механизма прессования.

По результатам исследования математической модели механизма прессования для рассматриваемого пресса установлены следующие параметры: при удельном давлении прессования  $q=10\text{МПа}$ , сосредоточенная масса механизма прессования  $m=1,6\text{ кН}$ , и при скорости штока прессующего гидроцилиндра  $v_r=0,107\text{ м/с}$ , коэффициент динамичности в переходном процессе составил  $K_d=1,3$ . При такой скорости штока прессующего гидроцилиндра время прямого хода (прессования) составило  $t_n=4,68\text{ с}$ , а время обратного хода составило  $t'_n=3,51\text{ с}$ . Таким образом, время операции процесса прессования с выпрессовкой составило  $t_n^{\circ}=t_n+t'_n=4,68+3,51=8,19\text{ с}$ . Эти результаты получены при следующих конструктивных и гидравлических параметрах гидравлического пресса:

$m = 1,6\text{ кН}$  - масса прессующей части;

$X = 0,5\text{ м}$  - ход штока прессующего гидроцилиндра;

$F = 78,5\text{ см}^2$  - площадь сечения поршня прессующего гидроцилиндра;

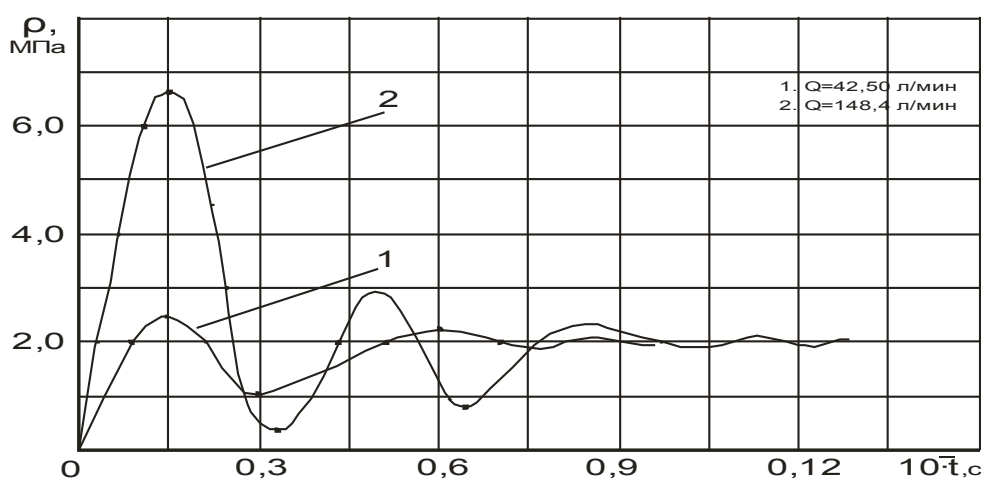


Рис. 3.8. График зависимости изменения переходных процессов давления в гидросистеме от расхода рабочей жидкости, поступающей в рабочую полость гидроцилиндра механизма прессования с выпрессовкой при обратном ходе

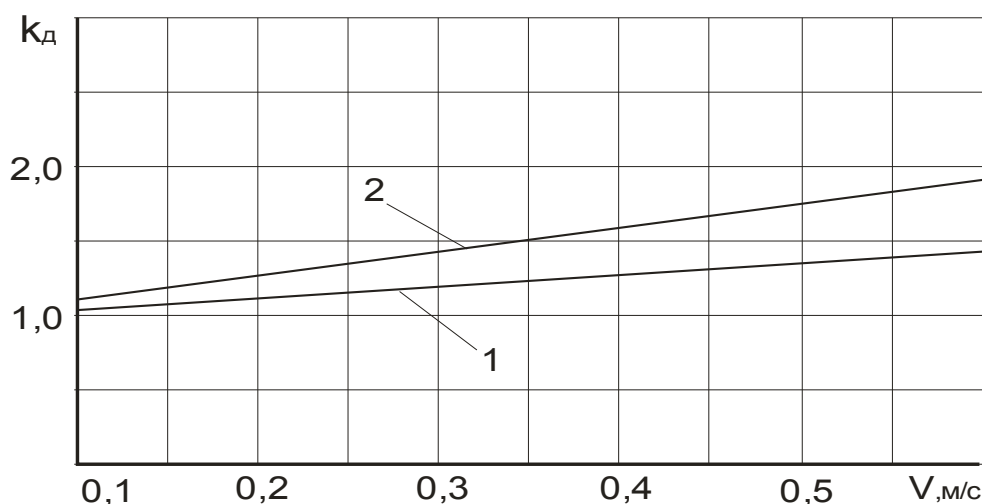


Рис. 3.9. График зависимости изменения коэффициента динамичности от скорости подвижной матрицы при переходном процессе: 1 - при прямом ходе штока прессующего гидроцилиндра; 2 - при обратном ходе штока прессующего гидроцилиндра.

$Q = 1,67 \times 10^{-3} \text{ м}^3 / \text{с}$ . - расход жидкости, поступающей в полость прессующего гидроцилиндра;

$E = 1400 \text{ МПа}$  - модуль упругости жидкости;

$q = 20 \text{ МПа}$  - удельное давление прессования;

$n = 4$  - количество одновременно прессуемых изделий;

$F_{\text{изд}} = 300 \text{ см}^2$  - площадь прессования одного изделия;

$Q = 1,67 \times 10^{-3} \text{ м}^3 / \text{с}$  - расход жидкости.

Анализ результатов исследования математической модели механизма прессования показывает, что при требуемом удельном давлении прессования минимизация времени протекающего процесса может быть достигнута увеличением величины расхода рабочей жидкости, поступающей в полость прессующего гидроцилиндра, и тем самым повысится производительность прессы.



### 3.5. Заключение по главе 3.

1. На основе синтеза результатов теоретических и экспериментальных исследований, полученных при исследовании процесса экструзивного способа формования изделий из полусухой смеси разработано и создано экструзивное прессовое оборудование для производства строительного кирпича из полусухой смеси.

2. Для исследования динамической системы процесса работы экструзивного прессового оборудования разработано математическое описание протекающих в них физических процессов.

3. Разработанные математические модели рабочих процессов механизмов загрузки смеси, прессования с выпрессовкой отформованного изделия позволяют оптимизировать параметры и режимы работы экструзивного прессового оборудования.

4. Для решения численных значений математической модели процесса работы механизмов загрузки смеси, прессования с выпрессовкой отформованного изделия составлено алгоритм решения задачи и стандартная программа.

5. В результате численного решения разработанной математической модели процесса работы механизмов, установлены динамические характеристики экструзивного прессового оборудования.

6. Оценка погрешности результатов теоретических и экспериментальных исследований показала удовлетворительную сходимость.





## **ГЛАВА 4. ИНЖЕНЕРНАЯ МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ВЕРТИКАЛЬНОГО ЭКСТРУЗИВНОГО ПРЕССОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНОГО КИРПИЧА**

### **4.1. Инженерная методика расчета основных параметров вертикального экструзивного прессового оборудования для производства строительного кирпича**

Необходимость разработки обобщенной методики расчета основных параметров экструзивного прессового оборудования для производства строительного кирпича полусухим способом формования обусловлено принципиальной новизной конструкции прессового оборудования и способом прессования изделий на таком оборудовании. Несмотря на множество работ, посвященных разработке и исследованию экструзивного способа формования строительных изделий из полусухой смеси впервые разработаны теоретические положения, описывающие физико-механические процессы, протекающие при экструзивном формовании изделий из полусухой смеси и впервые создано вертикальное экструзивное прессовое оборудование. Испытание и экспериментальные исследования созданного экструзивного прессового оборудования для производства строительного кирпича полностью подтвердили правильность заложенных принципов и работоспособность оборудования.

Результаты, полученные в процессе теоретических и экспериментальных исследованиях, явились основой для разработки инженерной методики расчета основных параметров вертикального экструзивного прессового оборудования для производства строительного кирпича. Как и у всех новых оборудований, вертикальное экструзивное прессовое оборудование может быть охарактеризовано комплексом параметров, которые подразделяются на исходные и определяемые или



рассчитываемые. В рассматриваемом случае в качестве исходных данных разрабатываемого прессового оборудования может быть принято: часовая теоретическая производительность, усилие, развиваемое механизмом прессования, удельное давление прессование, влажность формуемой смеси, габаритные размеры формуемого изделия и тип привода – гидравлический. При этом задача разработки инженерной методики расчета будет заключаться в том, чтобы используя эти исходные данные определить конструктивные, технологические и габаритные параметры экструзивного прессового оборудования, отвечающим заданным исходным данным.

В виду того, что многие параметры вертикального экструзивного прессового оборудования для производства строительного кирпича взаимосвязаны, при разработке инженерной методики расчета решение поставленной задачи во многом будет определяться правильной последовательностью решения задач при определении параметров прессового оборудования. Одним из определяющих параметров прессового оборудования, от значения которого будет зависеть многие его параметры является количество одновременно формуемых изделий за один цикл. В тоже время значение этого параметра будет определяться с одной стороны часовой производительностью прессового оборудования, с другой стороны максимальным значением усилия, развиваемого прессующим механизмом. Поэтому количество одновременно формуемых изделий за один цикл должно, с одной стороны, определяться из условия максимального использования усилия, развиваемого прессующим механизмом, а с другой стороны, обеспечения заданной часовой производительности.

Количество одновременно формуемых изделий за один цикл из условия обеспечения заданной производительности можно определить следующей зависимостью

$$z = \frac{P_{\text{ч}} T_{\text{ц}}}{3600}, \text{ шт} \quad (4.1)$$



где,  $\Pi$  – заданная часовая производительность прессового оборудования;  $T_{ц}$  продолжительность цикла прессового оборудования.

В тоже время количество одновременно формуемых изделий за один цикл можно определить исходя из силовых возможностей прессующего механизма

$$z = \frac{F}{S_{\phi} q}, \text{ шт} \quad (4.2)$$

где,  $F$  – максимальное значение усилия, развиваемое прессующим механизмом;  $S_{\phi}$  – фактическая площадь поверхности прессования одного изделия;  $q$  – удельное давление прессования формуемого изделия.

Приравняв уравнения (4.1) и (4.2) между собой и решив относительно суммарной площади поверхности изделий формуемого за один цикл, получим

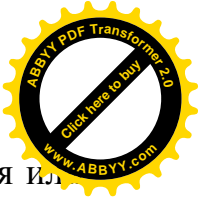
$$\sum S_p = \frac{3600 F}{\Pi q T_{ц}}, \text{ м}^2 \quad (4.3)$$

где,  $S_p$  – суммарное значение площади поверхности изделий, которое может быть отформовано за один цикл с заданным удельным давлением прессования.

Исходя из вышеизложенного, количество одновременно формуемых изделий за один цикл можно определить, как отношение суммарной площади поверхности изделий, которое может быть отформовано за один цикл с заданным удельным давлением прессования к фактической площади поверхности одного формуемого изделия. При этом полученное значение количество одновременно формуемых изделий за один цикл необходимо округлить до целого числа.

$$z = \frac{\sum S_p}{S_{\phi}}, \text{ шт} \quad (4.4)$$

Гидравлический привод, заданный в исходных данных предопределяет необходимость определения основных параметров прессующего гидроцилиндра и параметров насосной станции.



Прессующий гидроцилиндр должен во время прессования изделия и изделий должен обеспечить заданное удельное давление прессования, а ход штока должен быть достаточным для обеспечения процесса прессования и выпрессовки отформованного изделия или изделий из неподвижной матрицы. Поэтому задавшись значением номинального давления жидкости в гидросистеме, из условия равновесия «усилие, развиваемое прессующим гидроцилиндром при номинальном давлении и сопротивлением прессуемой смеси» определяем диаметр поршня прессующего гидроцилиндра

$$d_n = \sqrt{\frac{4 S_\phi z q}{\pi p_n}}, \text{ м} \quad (4.5)$$

где,  $d_n$  – диаметр поршня прессующего гидроцилиндра;  $p_n$  – номинальное давление жидкости в гидросистеме.

Ход штока прессующего гидроцилиндра будет определяться глубиной загрузки смеси в неподвижной матрице и высотой отформованного изделия

$$l_{ш} = h_3 / k_{сж} + h_{из}, \text{ м} \quad (4.6)$$

где,  $l_{ш}$  – ход штока прессующего гидроцилиндра;  $h_3$  – глубина загрузки смеси в матрице;  $k_{сж}$  – коэффициент сжатия смеси в процессе прессования изделия,  $k_{сж} = 2,0 - 2,2$ ;  $h_{из}$  – высота отформованного изделия.

Глубина загрузки формуемой смеси в матрице определяется максимальной высотой формуемого изделия и коэффициентом сжатия смеси в процессе его прессования и при проектировании прессового оборудования можно определить зависимость

$$h_3 = h_{из} k_{сж}, \text{ м} \quad (4.7)$$

Расход жидкости насосной станции, обеспечивающий заданную продолжительность цикла и производительность прессового оборудования определяется объемом жидкости, необходимым для выполнения операций в течение одного цикла прессующим гидроцилиндром и гидроцилиндром каретки механизма загрузки смеси в матрицу. Этот объем жидкости определяется следующей зависимостью



$$V = \left( \frac{\pi d_n^2}{4} + \frac{\pi (d_n^2 - d_{ш}^2)}{4} \right) l_n + \left( \frac{\pi d_k^2}{4} + \frac{\pi (d_k^2 - d_{ку}^2)}{4} \right) l_k, \text{ м}^3 \quad (4.8)$$

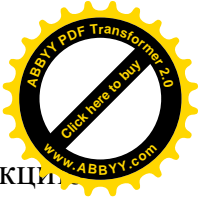
где,  $d_{ш}$  – диаметр штока прессующего гидроцилиндра;  $d_{ку}$  – диаметр штока гидроцилиндра каретки;  $l_n$  – ход штока прессующего гидроцилиндра;  $l_k$  – ход штока гидроцилиндра каретки механизма загрузки смеси в матрицу;

Ход штока гидроцилиндра перемещения каретки механизма загрузки смеси в матрицу определяется размером стороны матрицы перпендикулярной к оси гидроцилиндра, с учетом перехода передней стенки каретки в конце его перемещения стенки матрицы, перпендикулярной оси гидроцилиндра.

$$l_k = b_k \delta_1 + b_m + b_m \delta_2, \text{ м} \quad (4.9)$$

где,  $b_k$  – длина каретки механизма загрузки смеси в направлении параллельной оси гидроцилиндра его перемещения;  $b_m$  – длина матрицы в направлении параллельной оси гидроцилиндра перемещения каретки;  $\delta_1$  – коэффициент, учитывающий расстояние от передней стенки каретки в исходном его состоянии до ближайшей стенки матрицы, перпендикулярной оси гидроцилиндра перемещения каретки,  $\delta_1 = 0,3$ ;  $\delta_2$  – коэффициент, учитывающий расстояние от передней стенки каретки в конце его хода до ближайшей стенки матрицы перпендикулярной оси гидроцилиндра перемещения каретки,  $\delta_2 = 0,35$ .

В рассматриваемом экструзивном прессовом оборудовании, как было отмечено выше при описании устройства и принципа работы, имеются две матрицы, одна из которых неподвижная и жестко закреплена на раме, а вторая – подвижная, соединенная через тяги с нижней траверсой на которой закреплен корпус прессующего гидроцилиндра. Основным параметром, характеризующим подвижную и неподвижную матрицы, является их длины, а точнее их высоты они расположены вертикально. При этом остальные габаритные размеры матриц определяются геометрическими размерами формуемого изделия. В связи с этим высота неподвижной матрицы определяется глубиной загрузки смеси в матрице и длиной сопряжения



«пуансон-матрица», в котором матрица одновременно выполняет функцию направляющей для пуансона. При этом высота пуансона равна высоте матрицы. Следовательно, высоту неподвижной матрицы можно определить зависимостью

$$h_n = h_3 + l_c, \text{ м} \quad (4.10)$$

где,  $h_n$  – высота неподвижной матрицы;  $h_3$  – глубина загрузки смеси в матрице;  $l_c$  – длина сопряжения «пуансон-матрица», значение которого можно выразить через глубину загрузки смеси в матрицу,  $l_c = (0, 25 - 0,3) h_3$ .

С учетом длины сопряжения «пуансон-матрица», уравнение (4.10) примет вид

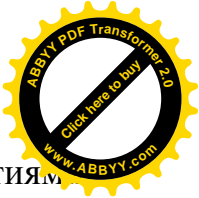
$$h_n = (1, 25 - 1,3) h_3, \text{ м} \quad (4.11)$$

Высота подвижной матрицы в экструзивном прессовом оборудовании является одним из определяющих параметров прессового оборудования, так как именно от его значения зависит возможность обеспечения заданного удельного давления прессования и требуемое качество формуемого изделия, а также работоспособность прессового оборудования в целом. При этом в зависимости от вида строительного кирпича, а именно с пустотными отверстиями или без него будет меняться зависимость, по которой определяется высота подвижной матрицы.

В случае, когда строительный кирпич с несквозными пустотными отверстиями, зависимость для определения высоты подвижной матрицы будет иметь вид

$$h_n = h_{uz} \log \frac{\lambda_{nc}}{q_{1,2}^k} \quad (4.12)$$

где,  $h_n$  – общая высота подвижной матрицы;  $h_{uz}$  – высота отформованного кирпича;  $\lambda_{nc}$  – давление, необходимое для выпрессовки  $n^{20}$  изделия с несквозными пустотными отверстиями из полости подвижной матрицы, значение которого определяется экспериментально;  $q_{1,2}^k$  – давление между



первым и вторым изделиями с сквозными пустотными отверстиями стороны прессующего пуансона;

При формовании строительного кирпича со сквозными пустотными отверстиями, зависимость для определения высоты подвижной матрицы примет вид

$$h_n = h_{из} \log \frac{\lambda_c}{q_{1,2}^k} \quad (4.13)$$

где,  $\lambda_c$  – давление, необходимое для выпрессовки  $n^{20}$  изделия со сквозными пустотными отверстиями из полости подвижной матрицы, значение которого определяется экспериментально;  $q_{1,2}^k$  - давление между первым и вторым изделиями со сквозными пустотными отверстиями стороны прессующего пуансона;

При известном значении объема жидкости необходимого для работы прессового оборудования в течении одного цикла расход жидкости насосной станции определяется зависимостью

$$Q_n = V / T_u, \text{ л/мин} \quad (4.14)$$

Мощность гидронасоса насосной станции будет равно

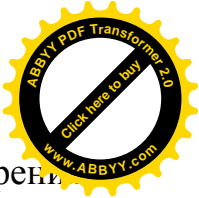
$$N = (Q_n \Delta p) / 612 \eta, \text{ квт} \quad (4.15)$$

где,  $\Delta p$  – перепад давления жидкости на гидронасосе;  $\eta$  - к. п. д. насоса.

## **4.2. Расчет ожидаемой экономической эффективности от внедрения вертикально прессующего гидравлического экструзивного оборудования**

Народнохозяйственный экономический эффект рассчитывают на всех этапах разработки машины от технического задания до серийного производства. Для расчета технико-экономической эффективности новой техники можно воспользоваться одним из существующих методик расчета [11, 21, 26].





Экономический эффект от применения новой техники с точки зрения хозяйственных интересов эксплуатирующей организации определяется как превышение стоимостной оценки результатов над стоимостной оценкой затрат.

Стоимостную оценку результатов  $P$  рассчитывают по формуле

$$P = C_{\text{пр}} \cdot P_{\text{г}}, \quad (4.16)$$

где,  $C_{\text{пр}}$  - цена единицы конечной продукции, производимой с помощью техники;  $P_{\text{г}}$  - годовая эксплуатационная производительность.

Стоимостную оценку затрат рассчитывают по формуле годовых приведенных затрат

$$Z = C + E_{\text{н}} \cdot K, \quad (4.17)$$

где,  $C$  - годовые текущие затраты или себестоимость продукции;  $E_{\text{н}}$  - нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений,  $E_{\text{н}} = 0,1 \div 0,12$ ;  $K$  - капитальные вложения потребителя, связанные с приобретением и эксплуатацией техники.

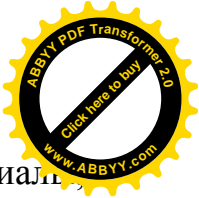
Капитальные вложения потребителя включают оптовую цену техники, затраты на первоначальную доставку и монтаж:

$$K = C_{\text{б}} + K_{\text{с}}, \quad (4.18)$$

где,  $C_{\text{б}}$  - балансовая стоимость техники;  $K_{\text{с}}$  - затраты на первоначальную доставку и монтаж, а также отсутствующие капитальные вложения, связанные с ее эксплуатацией.

Текущие затраты рассчитываются за год работы техники и включают затраты на сырье и материалы, используемые в технологическом процессе, амортизационные отчисления на реновацию от балансовой стоимости, заработную плату производственных рабочих, затраты на все виды ремонтов; на электроэнергию, топливо; на масло для гидросистемы; на смазочные материалы, на сменную оснастку. Таким образом, текущие затраты определяются следующим образом:

$$C = C_{\text{м}} + C_{\text{а}} + C_{\text{зп}} + C_{\text{р}} + C_{\text{з}} + C_{\text{мг}} + C_{\text{см}} + C_{\text{со}} \quad (4.19)$$



При производстве строительных изделий затраты на материалы, используемые в технологическом процессе, определяют исходя из количества расходуемого материала, оптовых цен материалов с учетом транспортировки.

Заработная плата рабочих, занятых управлением оборудования, определяются следующим образом:

$$C_{зп} = k_p \cdot j \cdot T_r \sum_i^n C_{mi}, \quad (4.20)$$

где,  $k_p$  - коэффициент, учитывающий местность;  $j$  - коэффициент, учитывающий премии;  $n$  - число рабочих;  $C_{mi}$  - часовая тарифная ставка.

Затраты на все виды ремонтов определяют по нормативам, разрабатываемым каждой эксплуатирующей организацией,

$$C_p = \frac{З_{об} \cdot k_{р.об.}}{100} + \frac{З_{стр} \cdot k_{р.стр.}}{100}, \quad (4.21)$$

где,  $З_{об}$ ,  $З_{стр}$  - соответственно стоимость оборудования и строительной части;  $k_{р.об.}$ ,  $k_{р.стр.}$  - норма затрат на текущий ремонт и технологическое обслуживание.

Затраты на амортизационные отчисления на реновацию от балансовой стоимости определяют следующим образом:

$$C_a = \frac{З_{об} \cdot k_{а.об.}}{100} + \frac{З_{стр} \cdot k_{а.стр.}}{100}, \quad (4.22)$$

где,  $k_{а.об.}$ ,  $k_{а.стр.}$  - соответственно норма на амортизацию оборудования и строительной части.

Затраты на электроэнергию определяют по следующей формуле

$$C_э = Ц_э \times W_э \times T_r, \quad (4.23)$$

где,  $Ц_э$  - тариф 1 кВт.ч. электроэнергии;  $W_э$  - расход электроэнергии, кВт ч/ч.

$$W_э = \sum_i^n N_{эi} \times k_n \quad (4.24)$$

где,  $n$  - число установленных электродвигателей;  $N_{эi}$  - номинальная мощность каждого двигателя;  $k_n$  - коэффициент нагрузки каждого электродвигателя.

Затраты на масло для гидросистемы определяют по следующей формуле :

$$C_{мг} = V_r \times \rho_r \times Ц_r \frac{T_r}{t_{мг}} \quad (4.25)$$



где,  $V_T$  - вместимость гидросистемы;  $\rho_T$  - плотность масла гидросистемы;  $C_T$  - оптовая цена масла;  $t_{MT}$  - периодичность смены масла в гидросистеме.

Затраты на смазочные материалы для техники с электроприводом определяются следующим образом:

$$C_{CM} = 0,1 \times \delta \times W_3 \times T_T \quad (4.26)$$

где,  $\delta$  - затраты на смазочные материалы в расчете на 10 кВт ч электроэнергии.

Прибыль определяется разностью между оптовой ценой и себестоимостью

$$П = Ц - С \quad (4.27)$$

где, Ц - оптовая цена продукции; С - себестоимость продукции.

В результате расчета экономической эффективности от внедрения в промышленность вертикально прессующего экструзивного гидравлического оборудования полученные показатели приведены в табл. 4.1.

Таблица 4.1 - Предполагаемые технико-экономические показатели от внедрения экструзивного прессового оборудования для производства строительного кирпича

№ п/п	Показатели	Единица измерения	Значение
1.	Капитальные затраты	тыс. сом	300
2.	Годовые текущие затраты	тыс. сом	1096
3.	Годовая производительность	тыс. шт.	578
4.	Себестоимость 1 тыс. шт. кирпича	сом/тыс. шт.	1897
5.	Отпускная цена 1 тыс. шт. кирпича	сом/тыс. шт.	3500
6.	Годовая прибыль	тыс. сом	637,373
7.	Срок окупаемости	год	0,5



### **4.3. Заключение по главе 4.**

1. Производственные испытания разработанного и созданного вертикального экструзивного прессового оборудования с использованием разработанной инженерной методики расчета основных параметров показали работоспособность прессового оборудования и правильность заложенных в ней принципов.

2. Годовой экономический эффект от внедрения одного вертикального экструзивного прессового оборудования в производство 637 тыс. сомов в год и срок окупаемости капитальных вложений составляет полгода.



## ВЫВОДЫ

1. Обзор и анализ существующего прессового оборудования для производства стеновых строительных изделий полусухим способом формования показывает, что, несмотря на неоспоримые преимущества полусухого способа производства строительных изделий, ограниченность применения такого способа производства стеновых строительных изделий обусловлено, прежде всего, низкой удельной производительностью существующего прессового оборудования.

2. Разработана принципиально новая схема вертикального экструзивного прессового оборудования для производства строительного кирпича со сквозными и несквозными пустотными отверстиями из полусухой смеси, обеспечивающее при прочих равных условиях, повышение удельной производительности прессового оборудования на 25-28%.

3. Разработаны расчетные схемы и математические модели процесса экструзивного способа формования строительного кирпича со сквозными и несквозными пустотными отверстиями из полусухой смеси, позволяющие исследовать влияние параметров смеси и геометрических размеров формуемого изделия на процесс формирования и стабилизации удельного давления прессования.

4. Получены аналитические уравнения, устанавливающие зависимость длины подвижной матрицы экструзивного прессового оборудования от параметров смеси и геометрических размеров формуемого изделия.

5. Получены зависимости, описывающие распределение давления прессования при экструзивном формовании строительных изделий из полусухой смеси на давление, затрачиваемое на процесс уплотнения формуемой смеси и на давление, затрачиваемое на преодоление силы трения между стенками матрицы и формуемой смесью, а также свидетельствующие,



что при экструзивном формовании имеет место одностороннего прессования изделий.

6. Экспериментальные исследования на лабораторных стендах и на экспериментальном образце экструзивного прессового оборудования в производственных условиях подтверждают правильность заложенных принципов при разработке прессового оборудования, и расхождение результатов теоретических и экспериментальных исследований не превышает 15 – 18%.

7. Разработана инженерная методика расчета по определению основных параметров экструзивного прессового оборудования по заданной производительности.

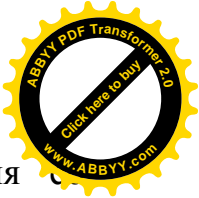
8. Экономический эффект от внедрения одного экструзивного прессового оборудования в производство составляет 637,373 тыс. сомов в год.



## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. А.с.1738664 (СССР). Пресс для формования строительных изделий [Текст]/А.И.Джылкычиев, И.О.Фролов, А.Р.Бекбоев; заявл. №1; 1992
2. Пат. Ас. 1794668 (СССР). Гидравлический пресс для формования земляных блоков [Текст] / А.И. Джылкычиев, И.О. Фролов, В.В. Костин, Р. Шабанов, А.Р.Бекбоев; заявл. №6; 1993г.
3. Пат. А.с. № 292781. (СССР). Устройство образования пустот в изделии [Текст] / Г.Г. Устинкин, Н.С. Волосов; заял. БИ № 6, 1973г.
4. Альперович, И.А. Керамические стеновые и теплоизоляционные материалы в современном строительстве [Текст] / И.А. Альперович // Строит. Материалы, - 1997 - № 6. -152 с.
5. Антонов В.М. Теоретическая механика. Динамика [Текст]: учеб. пос. /В.М.Антонов, В.Н.Борисов. -Красноярск, [краснояр. политехн. ин-т], 1974. -212 с.
6. Анурьев, Справочник конструктора-машиностроителя [Текст] / Анурьев .- Т.-1.-М.: Высшая школа, 1979, - 728 с.
7. Артоболевский, И.И. Теория механизмов и машин [Текст] / И.И. Артоболевский. - М.: Наука, 1988. -78 с.
8. Аряшнов, Б.В. Модернизация оборудования - важный фактор выпуска высококачественного кирпича из местных строительных материалов [Текст] / Б.В. Аряшнов - Строительные материалы, 1977, № 3. -89 с.
9. Байсоголов, В.Г. Механическое и транспортное оборудование заводов огнеупорной промышленности В.Г. Байсоголов, П.И. Галкин. - М.: Metallurg, 1972. - 260 с.
10. Баласалов, Г.Н. Моделирование и оптимизация в автоматических системах управления [Текст] / Г.Н. Баласалов. - М.: Атомиздат, 1972. - 116 с.

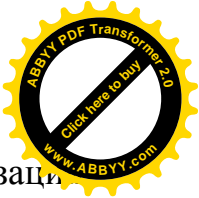




11. Баловнев, В.И. Моделирование процессов взаимодействия средой рабочих органов дорожно-строительных машин [Текст] / В.И Баловнев. - М.: Высшая школа, 1981.- 335 с.
12. Бать М.И. Теоретическая механика в примерах и задачах [Текст]: учеб. пос./М.И.Бать, Г.Ю.Джанелидзе, А.С.Кельзон. -М.: Наука, 1968. -624 с.
13. Башта, Г.М. Гидравлика, гидравлические машины и гидравлические приводы [Текст] / Г.М. Башта. - М.: Машиностроение, 1982. - 504 с.
14. Бекбоев, А.Р. Разработка и исследование энергосберегающего механизма для получения кирпичей методом полусухого прессования [Текст] / А.Р. Бекбоев, Н.С. Богубаев. / Проблемы механизации строительства и совершенствования дорог: Сб. научн. тр. КАСИ. - Бишкек, 1996. 98-101 с.
15. Борщевский, А. А. Механическое оборудование для производства строительных материалов и изделий [Текст] / А. А. Борщевский, А.С. Ильин. - М.: Высшая школа, 1987. -368 с.
16. Брон, Л.С. Гидравлический привод агрегатных станков и автоматических линий. [Текст] / Л.С. Брон, Ж.Э. Тартаковский. - М.: Машиностроение, 1967. - 355 с.
17. Брябрин, В.М. Программное обеспечение персональных ЭВМ. [Текст] / В.М. Брябрин. - М.: Наука, 1988.- 120 с.
18. Булавин, И.А. Краткий справочник по производству кирпича и черепицы [Текст] / И.А. Булавин. - М.: 1954. -210 с.
19. Булавин, И.А. Оборудование керамических и огнеупорных заводов [Текст] / И.А. Булавин. - М.: Высшая школа, 1965. -320 с.
20. Бусленко, Н.П. Моделирование сложных систем [Текст] / Н.П. Бусленко. - М.: Наука. 1968. - 210 с.
21. Васильев, А.А. Металлические конструкции [Текст] / А.А. Васильев. - М.: Стройиздат, 1979. - 320с.
22. Васильев, И.А. Экономика, организация и планирование строительного и дорожного машиностроения [Текст] / И.А. Васильев, В.В. Петреченко. - М.: Машиностроение, 1990. - 248 с.



23. Васильченко В.А. Гидравлический привод строительных дорожных машин [Текст] / В.А.Васильченко, Ф.М.Беркович. –М.: Стройиздат, 1978. -166 с.
24. Веников, В.А. Теория подобия и моделирования [Текст] / В.А. Веников. - М.: 1976.- 115 с.
25. Веретенников В.Г. Теоретическая механика. Вывод и анализ уравнений движения на ЭВМ [Текст]: учеб. пос. /В.Г.Веретенников. - М.: Высш. шк., 1990.- 173 с.
26. Власов, В.И. Системы включения кривошипных прессов [Текст] / В.И. Власов. - М.: Машиностроение, 1969. - 272 с.
27. Гавриленко В.А. Теоретическая механика. Динамика [Текст]: учеб. пособие / В.А.Гавриленко, В.М.Кашеев, О.Е.Короли и др. -Л, 1970. -155 с.
28. Гоберман, Л.А. Основы теории, расчета и проектирования строительных и дорожных машин [Текст] / Л.А. Гоберман. - М.: Машиностроение, 1988.- 464 с: ил.
29. Гольдштейн, М.Н. Механические свойства грунтов [Текст] / М.Н. Гольдштейн. - М., 1971. -125 с.
30. Джылкычиев, А.И. Гидравлические прессы для производства изделий полусухим способом прессования [Текст] / А.И. Джылкычиев. - Бишкек, 1996. - 140 с.
31. Джылкычиев, А.И. Оборудование и технология производства строительного кирпича полусухим прессованием из местных глин и побочных продуктов промышленности [Текст] / А.И. Джылкычиев, А.Р Бекбоев. - Бишкек: КыргНИИТИ, 1992.-35 с.
32. Джылкычиев, А.И., Бекбоев А.Р. Исследование влияния прочностных характеристик отформованных изделий на параметры механизма загрузки смеси [Текст] / А.И. Джылкычиев, А.Р. Бекбоев. Механизация строительства и совершенствования дорог: Сб.научн.тр.КАСИ. -Бишкек, 1997. С.54-61.
33. Джылкычиев, А.И., Бекбоев А.Р. Математическая модель рычажно-гидравлического пресса для производства строительных изделий



[Текст] / А.И. Джылкычиев, А.Р. Бекбоев. Проблемы механизации строительства и совершенствования дорог: Сб. научн. тр. КАСИ - Бишкек, 1993. С.24-29.

34. Джылкычиев, А.И., Бекбоев А.Р. Математическое моделирование механизма выпрессовки отформованных изделий в рычажно-гидравлическом прессе [Текст] / А.И. Джылкычиев, А.Р. Бекбоев. Проблемы механизации строительства и совершенствования дорог: Сборник научн. тр. КАСИ - Бишкек, 1996. С.39-46.

35. Джылкычиев, А.И., Бекбоев А.Р. Рычажно-гидравлический пресс для полусухого формования кирпича [Текст] / А.И. Джылкычиев, А.Р. Бекбоев. - Бишкек, 1992, КыргНИИНТИ, № 10. С.67-72

36. Джылкычиев, А.И. Стенд для определения коэффициента бокового распора при полусухом способе прессования [Текст] / А.И. Джылкычиев, А.Р. Бекбоев, А.Б. Алымкулов. Проблемы проектирования, строительства и эксплуатации горных дорог: Сб. научн. тр, вып. № 5 КАСИ. - Бишкек, 1997.

37. Джылкычиев, А.И. Новая конструкция формующего оборудования для производства стеновой керамики [Текст] / А.И. Джылкычиев, А.Р. Бекбоев, Р. Шабанов. Тезисы докладов науч.-техн.конф. - Новосибирск, 1993.

38. Джылкычиев, А.И. Технология и оборудование для производства изделий полусухим способом формования [Текст] / А.И. Джылкычиев. Б., 2001. -245 с.

39. Долин, П.А. Справочник по технике безопасности[Текст] / П.А. Долин.- М., 1982. -66 с.

40. Журабаев П.А. Теоретическая механика: Статика [Текст]: учеб. пос. /П.А.Журабаев, А. Ф.Захаревич, Р.А.Колтон и др. - Л.: ЛГИ, 1975. -142 с.

41. Ильевич, А.П. Машины и оборудование для заводов по производству керамики и огнеупоров [Текст].- М.: Высшая школа, 1979. - 344 с.

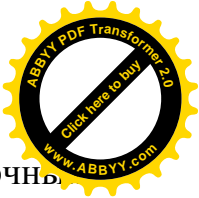
42. Ильинский, Б.П. Мобильная установка для производства кирпича [Текст] / Б.П.Ильинский. Строительные материалы, 1996, №7. -89 с.



43. Ларионова, В.Н. Информатика и вычислительная техника [Текст] / В.Н. Ларионова. - М.: Высшая школа, 1992, - 320 с.
44. Кайнарский, И.С. Процессы технологии огнеупоров [Текст] / И.С. Кайнарский. -М., 1969. -180 с.
45. Карклит А.К. Производство огнеупоров полусухим способом[Текст] / А.К. Карклит. и др. - М.: Metallurgy, 1972. - 320 с.
46. Карклит, А.К. Производство огнеупоров полусухим способом [Текст] / А.К. Карклит. - М., 1981. - 290 с.
47. Кассиян, Н. Сухое прессование строительного огнеупорного кирпича [Текст] / Н. Кассиян. - Ташкент, 1940. - 152 с.
48. Каталог-справочник: Машины и - оборудование для производства керамических и силикатных изделий [Текст] / - М., 1981. - 495 с.
49. Киркач Н.Ф. Расчет и проектирования деталей машин [Текст]: учеб. пос. для техн. вузов /Н.Ф.Киркач, Р.А.Баласанян – 3-е изд., перераб. и доп. – Харьков, Основа, 1991. -272 с.
50. Кнатько, В.М. Математические методы и планирование эксперимента [Текст] / В.М. Кнатько, И.Е. Руднева. и др. - Л., 1983. - 112 с.
51. Коваль, П.В. Гидравлика и гидропривод горных машин [Текст] / П.В. Коваль. - М.: Машиностроение, 1979. - 319 с.
52. Ковальский, А.Л. Пресс СМ-143[Текст] / А.Л. Ковальский. -М.: Машиностроение, 1977. -54 с.
53. Колгин, А.В. Датчики средств диагностирования машин [Текст] / А.В. Колгин. - М.: Машиностроение, 1982. -112 с.
54. Комаров, М.С. Динамика машин и механизмов [Текст] / М.С. Комаров. - М.: Машиностроение, 1969. -296 с.
55. Кондаков, Л.А. Рабочие жидкости и уплотнения гидравлических систем [Текст] / Л.А. Кондаков. - М.: Машиностроение, 1978. -122 с.
56. Кудрявцев, Е.М. Исследование операций в задачах, алгоритмах и программах [Текст] / Е.М. Кудрявцев. - М., 1983. -59 с.



57. Лундина, М.Г. Современное производство стеновых керамических материалов [Текст] / М.Г. Лундина, Г.И. Гурков. - М., 1973.- 84 с.
58. Лундина, М.Г. Производство эффективного кирпича и керамических камней в СССР и за рубежом [Текст] / М.Г. Лундина. Обзор. - М., 1975. - 86 с.
59. Лундина, М.Г. Производство кирпича методов полусухого прессования [Текст] / М.Г. Лундина. -М.: Госстройиздат, 1978. - 75 с.
60. Лундина, М.Г. Производство кирпича методом полусухого прессования[Текст] / М.Г. Лундина., П.И. Беренштейн., Г.С. Блок. - М.: Госстройиздат, 1958. - 92 с.
61. Малиновский, Г.Н. Производство керамических архитектурно-отделочных материалов [Текст] / Г.Н. Малиновский. – Могилев.: 1983. -170 с.
62. Малиновский, Е.Ю. Математическое моделирование в исследовании строительных машин [Текст] / Е.Ю. Малиновский - М.: 1965. - 115 с.
63. Мелия, Г.С. Повышение равномерности кирпича-сырца при полусухом формовании. [Текст] / Г.С.Мелия. -Экспресс-инф. ГосИНТИ.- М.: 1975. -34 с.
64. Мидовский, В.И. Исследование надежности прессующего механиз-ма механических прессов [Текст]: автореф. дисс. канд. техн. наук: В.И. Мидовский.- 1978. -18 с.
65. Миловский, В.И. К расчету кривошипно-шатунных прессов для прессования силикатного кирпича [Текст] / В.И. Миловский. Строительные и дорожные машины, 1974, № 4. -45 с.
66. Мороз, И.И. Технология строительной керамики [Текст] / И.И. Мороз. – М.: Высшая школа. - 1980. -260 с.
67. Наназашвили, И.Х. Строительные материалы, изделия и конструкции [Текст]/И.Х.Наназашвили. Справочник. -М.: Высшая школа, 1990. -450 с.
68. Никитин, О.Ф. Объемные гидравлические и пневматические приводы [Текст] / О.Ф. Никитин, К.М. Холин. - М.: Машиностроение, 1981. - 269 с.

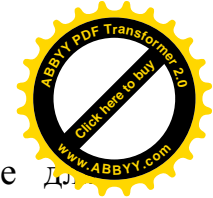


69. Ничипоренко, С.П. О формировании керамических масс в ленточных прессах [Текст]/С.П.Ничипоренко., и др. -Киев.: Наукова думка, 1971. -216 с.
70. Ничипорчик С.Н. Детали машин в примерах и задачах [Текст] / С.Н.Ничипорчик, А.АКорженцевский, В.Ф.Калачев и др. – 2-е изд., перераб. и доп. - Минск, Высшая школа, 1981. -431 с.
71. Ольшевский, Е.Д. Исследования влияния динамики прессования на качество кирпича [Текст] / Е.Д. Ольшевский. Труды ВНИИСтром. Вып. № 10, - Гатчина. 1970. - С. 35-42.
72. Панкратов, С.А. Основы расчета и проектирования металлических конструкций строительных и дорожных машин [Текст] / С.А. Панкратов, В.А. Ряхин. - М.: Машиностроение, 1967. - 275 с.
73. Петриченко, Р.М. Элементы системы автоматизированного проектирования. Алгоритмы прикладных программ [Текст] / Р.М. Петриченко. - Л.: Машиностроение, 1990. -328 с.
74. Попильский, Р.Я. Прессование керамических порошков [Текст] / Р.Я. Попильский, Ф.В. Кондрашов. - М., 1968. -320 с.
75. Попильский, Р.Я., Ливийский Ю.Е. Прессование порошковых керамических масс [Текст] / Р.Я. Попильский. -М.: Metallurgy, 1983. -176 с.
76. Пат. № 118 КР, Гидравлический пресс для производства строительных изделий [Текст] / А.И. Джылкичиев, А.Р. Бекбоев, М.С. Кыдыралиев, А.Б. Алымкулов; Бишкек. Оpubл.Ш.10.96. Бюл. № 2. 1997.
77. Пат. № 161 КР, Пресс для производства изделий способом полусухого прессования [Текст] / А.И. Джылкичиев, А.Р. Бекбоев, А.Б. Алымкулов; Бишкек.Оpubл. 01.04.1997. Бюл. № 4. 1997.
78. Пат. № 71 КР, Способ полусухого прессования кирпича [Текст] / А.А. Асанов, И.О. Фролов, В.В. Костин, А.Р. Бекбоев, С.Г. Караханиди; Бишкек, Оpubл. 01.07.1995. Бюл. № 3. 1996.
79. Пресс Rotomat. - Германия, 1968. - 6 с.
80. Пресс для производства силикатного кирпича фирмы Dorstener.- 1967. -5 с.



81. Пресс для силикатного кирпича. РХС-250/16. - Польша, 1968. - 5 с.
82. Пресс механико-гидравлический с поворотным столом фирмы Zoies. - Гатчина, 1967. - 55 с.
83. Пресс с поворотным столом для производства силикатного кирпича типа ВА/RD-2. - 1966. -6 с.
84. Пресс универсальный типа 550 В фирмы Atlas - 1967. - 10 с.
85. Пчелинцев, В.А. Охрана труда в производстве строительных изделий и конструкций [Текст] / В.А. Пчелинцев, Д.В. Виноградов, Д.В. Коптев. - М.: 1986 - 272 с.
86. Рахматуллин, Д.А. Лессы Киргизии и их использование в производстве автоклавных стеновых материалов [Текст] / Д.А. Рахматуллин. – Фрунзе. 1962. - 120 с.
87. Санитарные нормы вибрации рабочих мест.- М.: Минздрав СССР, 1984. -10 с.
88. Санитарные нормы допустимых уровней шума на рабочем месте. М.: Минздрав СССР, 1985. - 9 с.
89. Сапелин, С.А. Рабочий механизм прессы с увеличенной длительностью прессования [Текст]: - автореф. дисс. канд. техн. наук: С.А. Сапелин.- Харьков, 1983. - 17 с.
90. Сапожников, М.Я. Аппараты и машины для производства строительных материалов [Текст] / М.Я. Сапожников. - М.: 1948. -240 с.
91. Силенюк, С.Г. и др. Механическое оборудование предприятий строительных материалов изделий и конструкций [Текст] / С.Г. Силенюк. и др. - М.: Машиностроение. 1990. -416 с.
92. Силенюк, С.Г. Механическое оборудование предприятий строительной индустрии [Текст] / С.Г. Силенюк. - М.: Стройиздат, 1973. -350 с.
93. Современные численные методы решения обыкновенных дифференциальных уравнений [Текст] / Под ред. Дж.Холла и Дж.Уотта. - М.: Мир, 1979.- 120 с.





94. Строительные машины: Справочник, 2 т.: Оборудование для производства строительных материалов и изделий [Текст] / В.Н. Лямин. и др.; Под общ. Ред. М.Н. Горбовца. - М.: Машиностроение, 1991. - 496 с.
95. Строительные машины: Справочник. Т.2 [Текст] / Под ред. В.А. Баумана. - М.: Машиностроение, 1976. - 360 с.
96. Сырицын, Т.А. Эксплуатация и надежность гидро- и пневмопроводов [Текст] / Т.А. Сырицын. -М.: Машиностроение, 1990. -248 с.
97. Гоберман Л.А, Теория, конструкция и расчет строительных и дорожных машин [Текст] / Л.А. Гоберман, К.В. Степанян, А.А. Яркин, В.С. Заленский. Учебник по специальности «Строительные машины и оборудование» - М.: Машиностроение, 1979. - 407 с.
98. Тургумбаев, Ж.Ж. Джылкычиев А.И., Бекбоев А.Р. Установка для производства строительных изделий методом полусухого прессования [Текст] / Ж.Ж. Тургумбаев, А.И. Джылкычиев, А.Р. Бекбоев. Наука и новые технологии, 1999, №2. С. 121-122.
99. Хавкин, Л.М. Технология силикатного кирпича [Текст] / Л.М. Хавкин. - М.: Стройиздат, 1982. -28 с.
100. Хавкин Л.М. Оптимальная формовочная влажность степеней для силикатного кирпича [Текст] / Л.М. Хавкин, Р.Л. Коваев. Сб. тр. / ВНИИСтром, - М., 1978, № 78 (66). -87 с.
101. Хартман, К. Планирование эксперимента в исследовании ехнологических процессов [Текст] / К. Хартман. - М.: Мир, 1977. - 110 с.
102. Хюльзенберг, Механизация процессов формования керамических изделий [Текст] / Хюльзенберг, и др. М.: Стройиздат. 1984. - 260 с.
103. Шелюбский, Б.В. Техническая эксплуатация строительных и дорожных машин [Текст] / Б.В. Шелюбский, В.Г. Ткаченко. Справочник инженера-механика. - М.: Транспорт, 1986. - 296 с.
104. Шукуров, Э.Д. Механизация и автоматизация производства керамических стеновых материалов [Текст] / Э.Д. Шукуров, А.И. Романенков, и др. -Л.: Стройиздат, 1982. -35 с.

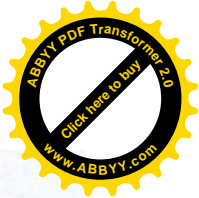


105. Шульц, Э. Исследование гидропрессов в силикатной промышленности [Текст] / Э. Шульц, - Труды ВНИИСтром. Вып. № 3, Гатчина. 1969. - С. 25-28.


106. Ямпольский, И.И. Новое оборудование для изготовления грунтоблоков [Текст] / И.И. Ямпольский. - М., 1957. -160 с.

## **ПРИЛОЖЕНИЯ**

Приложения 1



**«УТВЕРЖДАЮ»**

Директор Института машиноведения  
НАН Кыргызской Республики  
д.т.н.  Султаналиев Б.С.

«22» «февраля» 2018г.



**АКТ**

**о реализации научных результатов, полученных в диссертации Арыкбаева Канатбека Байышбековича на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.04 - дорожные, строительные и подъемно-транспортные машины на тему: «Обоснование параметров экструзивного прессового оборудования для производства строительного кирпича»**

Комиссия в составе: председателя д.т.н., профессора Абдраимова Э.С. – заведующего лабораторией ТММ им. С.А. Абдраимова Института «Машиноведения» НАН КР и члены комиссии: д.т.н., профессора Алмаматова М.З., к.т.н. доцента Баялиева А.Ж., начальника цеха Семеновой Г.В. свидетельствуем, что в рамках кандидатской диссертации Арыкбаева К.Б. были реализованы следующие научные результаты:

- по результатам теоретических и экспериментальных исследований разработана техническая документация и изготовлен экспериментальный образец экструзивного прессового оборудования для производства строительного кирпича полусухим способом формования.

- полученные аналитические зависимости, описывают распределение давления прессования на давление, затрачиваемое на уплотнение формуемой смеси и на давление, затрачиваемое на преодоление силы трения между стенками матрицы и формуемой смесью.

Реализация материалов диссертации Арыкбаева Канатбека позволила:

- разработать и создать экструзивное прессовое оборудование для производства строительного кирпича полусухим способом формования.

-получить аналитические уравнения, устанавливающие зависимость длины подвижной матрицы экструзивного прессового оборудования от параметров смеси и геометрических размеров формуемого изделия.





Материалы диссертации использованы в следующих документах, материалах и разработках:

- при изготовлении экспериментального образца экструзивного прессового оборудования для производства строительного кирпича полусухим способом формования.

По результатам реализации получен следующий положительный эффект:

- Экспериментальные исследования на лабораторных стендах и на экспериментальном образце экструзивного прессового оборудования в производственных условиях подтверждают правильность заложенных принципов при разработке экструзивного прессового оборудования. Расхождение результатов теоретических и экспериментальных исследований не превышает 8 – 18%, а производительность экструзивного прессового оборудования, при прочих равных условиях, повышается на 20 - 25 %.

Председатель комиссии:

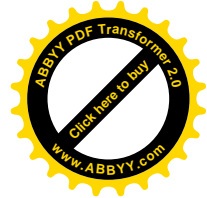
д.т.н. профессора Абдраимов Э.С.

Члены комиссии:

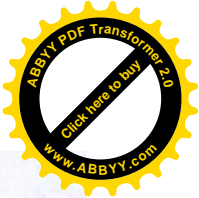
д.т.н. профессор Алмаатов М.З.

к.т.н. доцент Баялиев А.Ж.

Семенова Г.В.



## Приложения 2



«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе КРСУ

Ж.Ф.М.И., проф. Лелевкин В.М.



«10.12» 2018г.

АКТ

о реализации научных результатов, полученных в диссертации Арыкбаева Канатбека Байышбековича на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.04 - дорожные, строительные и подъемно-транспортные машины на тему: «Обоснование параметров экструзивного прессового оборудования для производства строительного кирпича»

Комиссия в составе: председателя, зам. директора Технического центра ФАДиС КРСУ Джумабекова Ж.Ч. и члены комиссии: д.т.н., профессора КРСУ Джылкичиева А. И., к.т.н., доцента КРСУ Сарбаевой Н.М. и ведущего инженера Рустембек уулу Абдиназар свидетельствуем что в рамках кандидатской диссертации Арыкбаева К.Б. были реализованы следующие научные результаты:

- инженерная методика расчета параметров экструзивного прессового оборудования для производства строительного кирпича полусухим способом формования;

- методика проведения экспериментальных исследований параметров экструзивного прессового оборудования для производства строительного кирпича и строительных изделий полусухим способом формования;

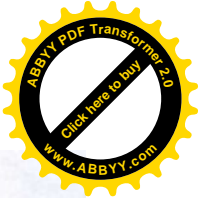
- получены зависимости, описывающие распределение давления прессования при экструзивном формовании строительных изделий из полусухой смеси на давление, затрачиваемое на уплотнение формуемой смеси и на давление, затрачиваемое на преодоление силы трения между стенками матрицы и формуемой смеси.

Реализация материалов диссертации Арыкбаева Канатбека позволила:

- разработать и создать экструзивное прессовое оборудование для производства строительного кирпича полусухим способом формования.

- получить аналитические уравнения, устанавливающие зависимость длины подвижной матрицы экструзивного прессового оборудования от параметров смеси и геометрических размеров формуемого изделия.







Материалы диссертации использованы при разработке:



- инженерной методики расчета по определению основных параметров экструзивного прессового оборудования по заданной производительности;
- разработке технической документации на изготовление экструзивного прессового оборудования для производства строительного кирпича соответствующего качества;

По результатам реализации получен следующий положительный эффект: В процессе испытания и эксплуатации экструзивного прессового оборудования для производства строительного кирпича комиссией установлено:

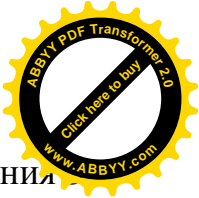
- прессовое оборудование обеспечивает выпуск строительных кирпичей с геометрическими размерами 120 x 250 x 88 мм с часовой эксплуатационной производительностью 150-180 кирпичей.
- экономический эффект от внедрения одного экструзивного прессового оборудования в производство составляет 637,3 тыс. сомов в год.

Председатель комиссии:  Джумабеков Ж.Ч.

Члены комиссии: д.т.н., проф.  Джылкичиев А. И.

к.т.н., доц.  Сарбаева Н.М.  
 Рутембек уулу Абдиназар





«УТВЕРЖДАЮ»  
Директор ИП «Акматов Ч.С.»  
Акматов Ч.С.  
«21» Август 2018 г.



**АКТ**

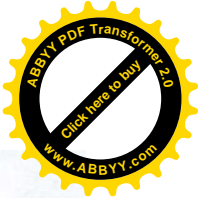
**о реализации научных результатов, полученных в диссертации Арыкбаева Канатбека Байышбековича на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.04 - дорожные, строительные и подъемно-транспортные машины на тему: «Обоснование параметров экструзивного прессового оборудования для производства строительного кирпича»**

Комиссия в составе зам. директора Керимбаева Б.А., и членов комиссии: инженера Кошалиева Р.К., к.т.н. Бекбоева А.Р. – проректора КГТУ им. И. Раззакова свидетельствует о том, что при разработке и обосновании экструзивного прессового оборудования были реализованы следующие научные результаты, полученные в кандидатской диссертации Арыкбаева Канатбека:

- инженерная методика расчета параметров экструзивного прессового оборудования для производства строительного кирпича полусухим способом формования;
- методика проведения экспериментальных исследований параметров экструзивного прессового оборудования для производства строительного кирпича и строительных изделий полусухим способом формования;
- получены зависимости, описывающие распределение давления прессования при экструзивном формовании строительных изделий из полусухой смеси на давление, затрачиваемое на уплотнение формуемой смеси и на давление, затрачиваемое на преодоление силы трения между стенками матрицы и формуемой смеси, а также свидетельствующие, что при экструзивном формовании имеет место одностороннее прессование изделий.

Реализация материалов диссертации Арыкбаева Канатбека позволила:

- разработать и создать экструзивное прессовое оборудование для производства строительного кирпича полусухим способом формования.
- получить аналитические уравнения, устанавливающие зависимость длины подвижной матрицы экструзивного прессового оборудования от параметров смеси и геометрических размеров формуемого изделия.



Материалы диссертации использованы при разработке:

- инженерной методики расчета по определению основных параметров экструзивного прессового оборудования по заданной производительности

По результатам реализации получены положительный эффект:

- экономический эффект от внедрения одного экструзивного прессового оборудования в производство составляет 637,373 тыс. сомов в год.

Председатель комиссии:

Керимбаев Б.А.

Член комиссии:

к.т.н. доцент Бекбоев А.Р.

Кошалев Р.К.