

Разработка лабораторного маятникового стана

11, ноябрь 2017

Халипов И. В.^{1,*}, Арюлин С. Б.^{1,**}, Сухоставский М. Н.¹, Лобурь Е. В.¹

УДК: 621.771

¹МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

^{*}ikhalipov@gmail.com

^{**}sergei.boricovich@yandex.ru

Введение

В рамках научного направления, сложившегося на кафедре «Оборудование и технологии прокатки» МГТУ им. Н.Э. Баумана, по созданию совмещенных литейно-прокатных агрегатов (ЛПА), активно разрабатывается тематика, связанная с созданием конструкций маятниковых прокатных станов. Подобные станы в силу их технических характеристик, таких как небольшие габариты, металлоемкость, простота конструкции, не требующая большого числа обслуживающего персонала, низкая энерговооруженность и вместе с тем возможность выпускать практически готовую продукцию, осуществляя большие деформации, и главное возможность работать в совмещении с ЛПА, делают их пригодными для использования в качестве прокатной единицы в “мини заводах” при переработке отходов основного производства. Работы над такими станами ведутся при непосредственном участии студентов и находят свое отражение в курсовых и дипломных работах, КНИРС, докладах на конференциях СНТО, межвузовских и всероссийских конкурсах на лучшую студенческую работу, отмеченных грамотами. В процессе работы над тематикой было создано ряд конструкций промышленных станов, на которые получены авторские свидетельства [1-4], сложилась методика расчета параметров маятниковой прокатки, отдельные положения которой изложены в научных публикациях [5-9,11]. Для проведения экспериментальных исследований с целью проверки работоспособности конструкции и методики расчетов энергосиловых параметров прокатки, а также использования в учебном процессе при освоении студентами теории периодической прокатки, была предпринята попытка разработки конструкции лабораторного маятникового стана для прокатки свинцовой полосы.

Разработка конструкции и результаты исследования

Основными задачами при проектировании лабораторного стана было создание простого и надежного устройства механизмов рабочей клетки, поддающихся легкой сборке и настройке при монтаже и эксплуатации, а также экономичного привода.

Одной из таких конструкций стал лабораторный маятниковый стан с опорной профилированной планкой, общий вид которого и конструктивное изображение представлены на рисунках 1, 2.

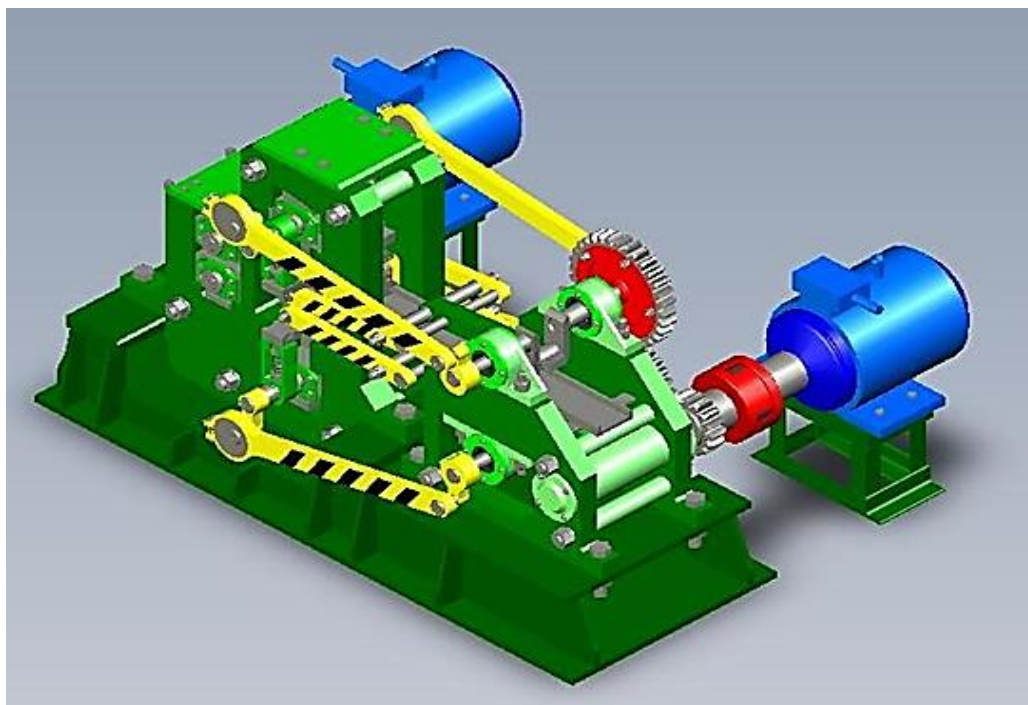


Рис. 1. Общий вид маятникового стана с опорной профилированной планкой

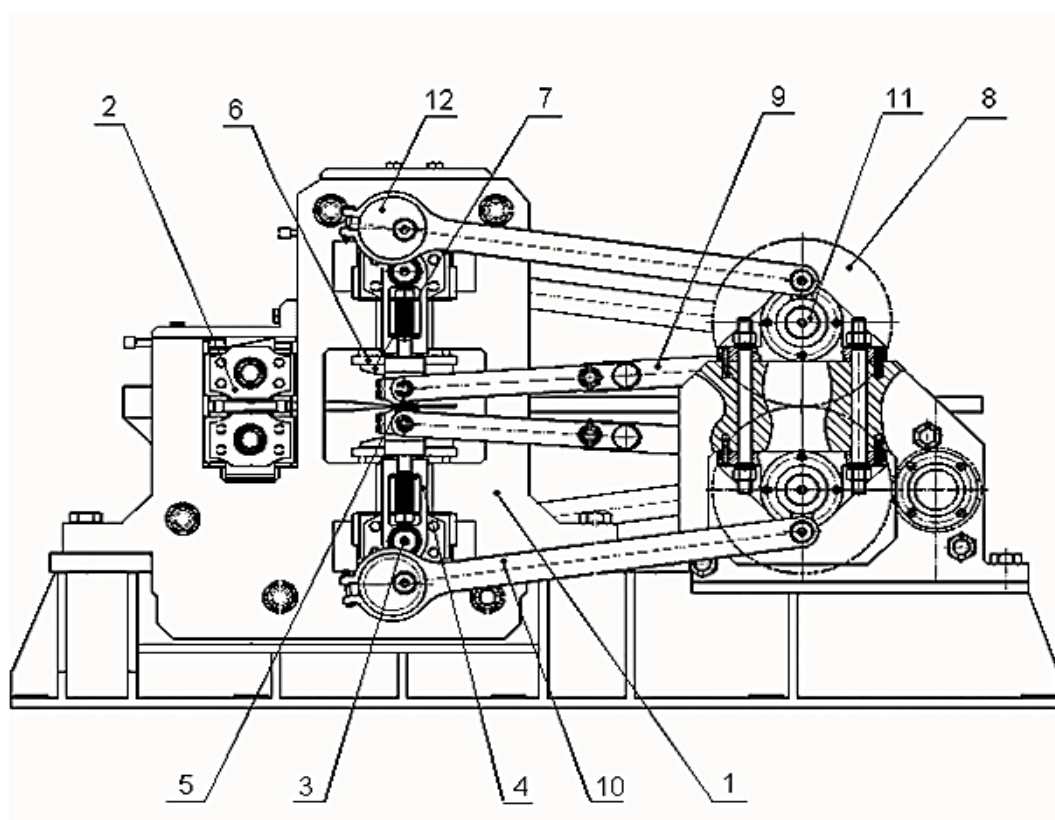


Рис. 2. Конструктивное изображение стана с опорной профилированной планкой

Стан состоит из задающей и маятниковой клетей, размещенных в одной сварной станине (1). Задающая клеть, частично обжимая заготовку, обеспечивает ее подачу в маятниковую клеть с постоянной скоростью и стабилизирует процесс периодической прокатки. Конструктивно она представляет из себя клеть дуо с приводными валками (2), клиновым нажимным механизмом установки верхнего вала и пружинным механизмом уравнивания. В направляющих станины маятниковой клетки установлены подушки с опорными профилированными валками (3). На обеих хвостовых частях валков свободно закреплены составные маятники (4), соединенные с корпусами рабочих валков (5). Рабочие валки с корпусами имеют пружинные механизмы уравнивания, размещенные в маятниках. В проемах станины на направляющих размещены подвижные траверсы (6) с пружинными механизмами их уравнивания. На траверсах смонтированы с одной стороны на осях нажимные втулки, с другой - сменные профилированные планки (7). С помощью механизмов уравнивания рабочие валки через опорные втулки, установленные на их шейках на подшипниках, постоянно поджаты к профилированным планкам, а нажимные втулки к опорным профилированным валкам. Клеть имеет механизм установки валков клинового типа и пружинный механизм уравнивания. Для лабораторного стана была разработана специальная конструкция привода и синхронизации качания маятников и вращения опорных профилированных валков от одного электродвигателя с помощью двухкривошипного механизма (8), в котором одни кривошипы обеспечивают через рычаги (9) привод качания маятников, а другие через тяги (10) вращение опорных валков. Синхронизация верхнего и нижнего узлов осуществляется с помощью зубчатого зацепления (11) на валах двухкривошипных механизмов привода. Изменение раствора валков без потери работоспособности двухкривошипного механизма осуществляется поворотом эксцентриковых втулок (12), встроенных в тяги, вращающие опорные валки. Обжатие металла осуществляется по закону, задаваемому формой профилированной планки, которая во время прямого рабочего хода маятников остается неподвижной, в то время как при обратном ходе планка с траверсой, а вместе с ними и рабочий валок удаляются от оси прокатки для пропуска металла непрерывно подающегося из задающей клетки. Таким образом, траектория движения рабочего вала маятниковой клетки представляет из себя замкнутую кривую, состоящую из криволинейной – обжимной участок и прямолинейной частей – калибрующий участок. Траектория была оптимизирована путем выбора необходимой амплитуды качания маятника и формы профилированной планки для обеспечения требуемого закона обжатия металла.

Одним из вариантов выполнения конструкции рабочей клетки лабораторного маятникового стана стал прокатный стан, в котором роль опорных элементов, а также элементов конструкции, обеспечивающих необходимую траекторию движения рабочих валков при их прямом и обратном ходе и задающих закон обжатия прокатываемого металла, выполняют опорные профилированные валки.

На рисунке 3 представлен общий вид лабораторного маятникового стана с опорным профилированным валком, а на рисунке 4 его конструктивное изображение.

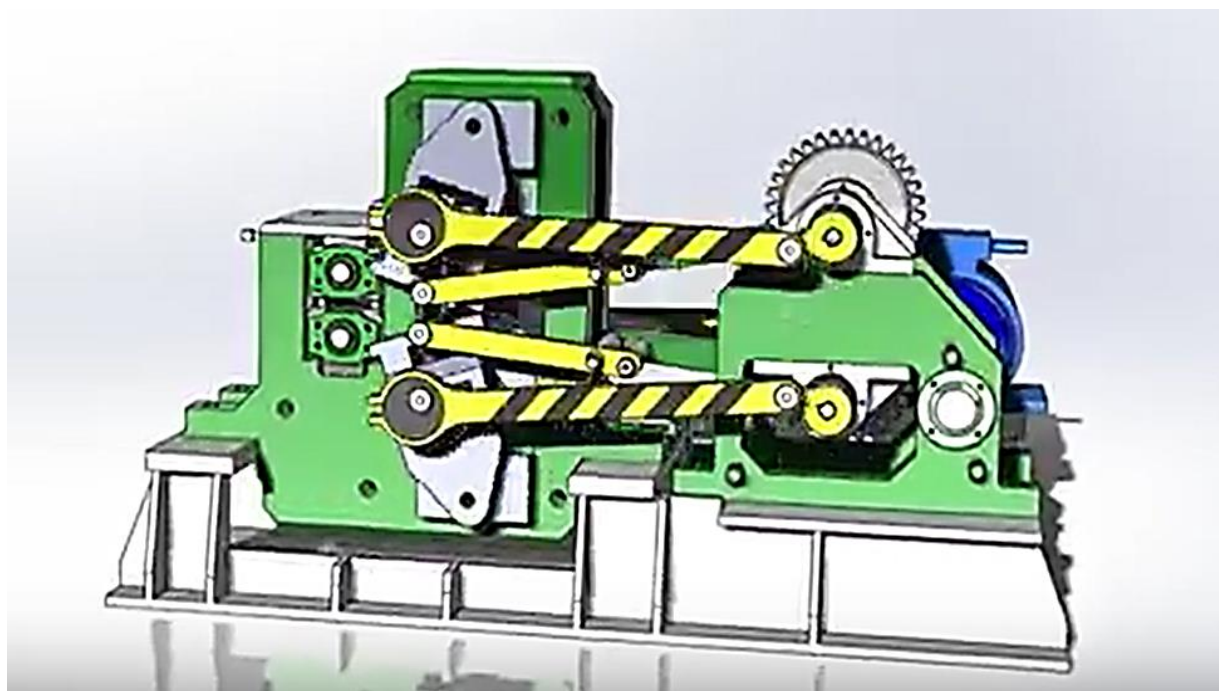


Рис. 3. Общий вид маятникового стана с опорным профилированным валком

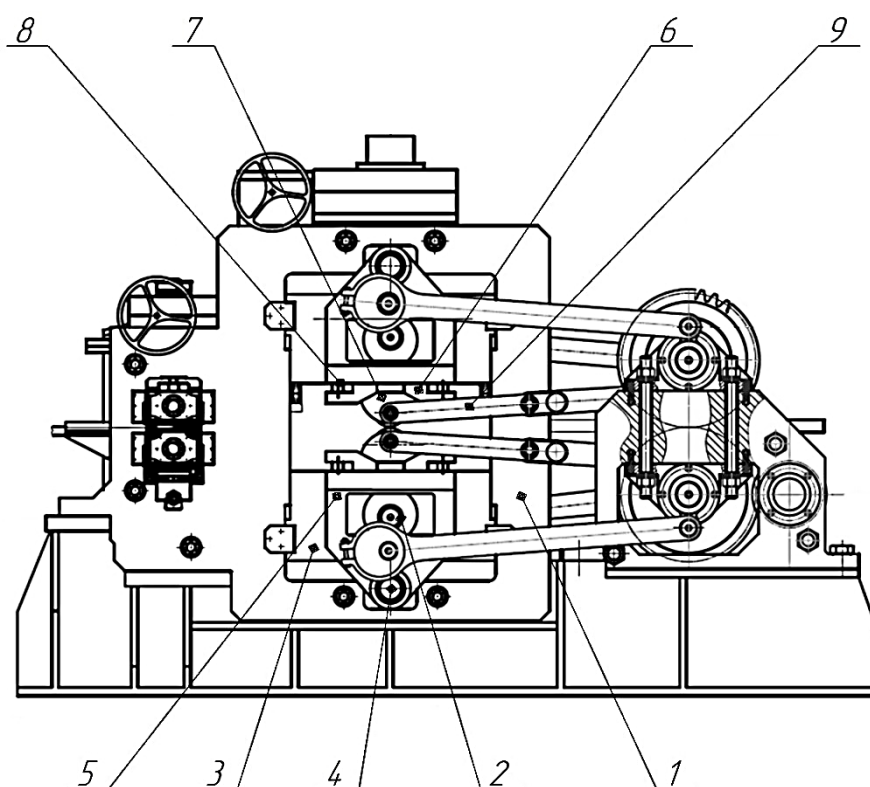


Рис. 4. Конструктивное изображение стана с опорной профилированным валком

Стан состоит из задающей и маятниковой клетей. Задающая клеть конструктивно представляет из себя клеть дуо с приводными валками, клиновым или винтовым нажим-

ным механизмом и пружинным уравниванием. Рабочая маятниковая клеть стана содержит станину 1, в проемах которой размещены валы опорных профилированных валков 2 с подушками 3. В подушки вмонтированы оси 4, на концах которых свободно закреплены маятники 5. В направляющих маятников перемещаются подвижные траверсы 6 с корпусами рабочих валков 7. Подвижная траверса имеет механизм уравнивания 8, размещенный в маятниках, с помощью которого одновременно осуществляется постоянное поджатие рабочих валков к опорным профилированным валкам. Корпуса рабочих валков связаны с помощью пальцев с рычагами 9 механизма привода клетки, который выполнен аналогично приводу лабораторного стана с опорной профилированной планкой, описанному выше. Прокатываемая заготовка, получившая первоначальное обжатие в задающей клетке, подается по направляющим линейкам в маятниковую клетку. В процессе прокатки маятники с рабочими валками совершают колебательные движения относительно неподвижных центров качания. При прямом (рабочем) ходе маятников рабочие валки обжимают заготовку по закону, задаваемому частью профиля опорных валков, постоянно вращающихся синхронно с валами кривошипа привода маятников, вследствие наличия между ними кинематической связи. При обратном ходе маятников, благодаря форме другой части профиля опорных валков, подвижные траверсы с корпусами рабочих валков перемещаются в стороны от оси прокатки на расстояние, необходимое для того, чтобы рабочие валки, движущиеся против хода прокатки, не касались постоянно подаваемого в зону деформации металла. Таким образом, траектория движения рабочих валков (или их центров), а значит и конфигурация наружного контура зоны обжатия прокатываемой полосы, зависят от выбранной формы профиля опорного валка. Следует также отметить, что для получения прокатываемой полосы без гребешков на готовом изделии (характерном для станов периодической прокатки с круговой рабочей траекторией движения центра рабочего валка), необходимо, чтобы траектория рабочего валка в конце рабочего хода имела калибрующий участок (движение валка параллельно оси прокатки), что также обеспечивается формой профиля опорного валка. Для изготовления такого профилированного опорного валка, а также возможности перехода на другой профиль опорного валка в зависимости от получения желаемой конфигурации наружного контура зоны обжатия прокатываемой полосы, необходимо иметь строгую математическую зависимость между конфигурацией наружного контура зоны обжатия и формой опорного валка. С этой целью была разработана методика определения профиля опорного валка маятникового прокатного стана, позволяющая при заданных кинематических параметрах рабочей клетки получать траекторию движения рабочего валка, обеспечивающую требуемый закон обжатия прокатываемого металла, изложенная в литературе [10].

Поиски в направлении упрощения выполнения привода и синхронизации механизма качания маятников и вращения опорных профилированных валков привели к разработке конструкции лабораторного маятникового стана с цепным приводом.

На рисунке 5 представлен общий вид лабораторного маятникового стана с механизмом синхронизации качания маятников и опорных валков через систему зубчатых колес и цепную передачу. На рисунке 6 представлено его конструктивное изображение.

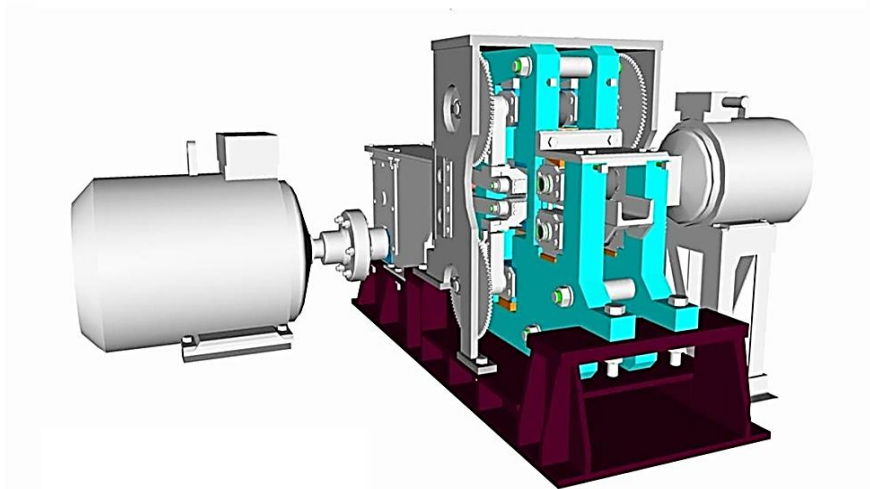


Рис. 5. Общий вид лабораторного маятникового стана с цепным приводом

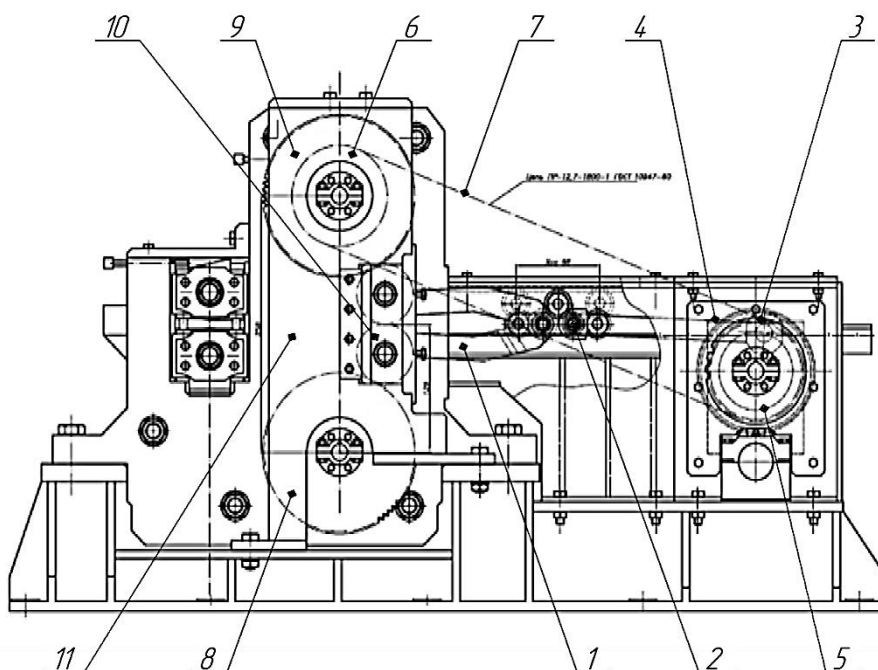


Рис. 6. Конструктивное изображение маятникового стана с цепным приводом

Привод качания маятников состоит из рычагов (1), связывающих корпуса рабочих валков с подвижными тележками (2), совершающими возвратно-поступательное движение по направляющим от кривошипов (3), размещенных на тихоходном валу цилиндрического редуктора (4). На тихоходном валу и верхнем валу опорного профилированного валка установлены звездочки (5,6), соединенные цепью (7), которая передает крутящий момент на верхний опорный валок. Передача крутящего момента и синхронизация вращения верхнего и нижнего опорных валков осуществляется с помощью зубчатых колес (8,9), за-

крепленных на концах валов опорных валков и кассеты с двумя шестернями (10), находящимися в постоянном зацеплении между собой и зубчатыми колесами. Кассеты с шестернями размещены в корпусе (11), охватывающем станину рабочей клетки. При сведении-разведении валков контакт шестерён с зубчатыми колёсами сохраняется посредством возможности горизонтального перемещения кассеты регулировочными винтами относительно неподвижного корпуса. За счет выбора диаметров зубчатого колеса на тихоходном валу редуктора и зубчатых колес на валах опорных профилированных валков обеспечивается необходимая кинематика стана, при которой одному двойному ходу маятников соответствует полный оборот профилированных валков.

На основе разработанной методики расчета параметров очага деформации и энергосиловых показателей процесса маятниковой прокатки, была создана универсальная программа, позволяющая определять все параметры и показатели процесса в функции угла пробега рабочим валком зоны деформации, от момента касания металла, до отрыва от него в конце калибрующего участка. Даная программа позволяет исследовать процесс прокатки в том числе и при изменении технологических (подача, размеры заготовки, величина обжатия, частота качания маятников) и конструктивных (радиус рабочего валка, амплитуда качания маятников) параметров для всех разработанных схем маятниковых станов.

Следующим этапом в исследовании лабораторного маятникового стана стало конечно-элементное (КЭ) моделирование процесса прокатки на этом стане свинцовой заготовки на основе эйлера описания поведения сплошной среды. Целью моделирования явилось получение дополнительной информации об энергосиловых параметрах процесса прокатки свинцовой полосы на лабораторном маятниковом стане для сравнения с результатами расчета по аналитическим зависимостям, а также информации о напряженно-деформированном состоянии прокатываемой заготовки. Для обеспечения корректности сравнения моделирование проводилось с исходными технологическими данными аналогичными расчетному методу. Полученные в результате моделирования значения энергосиловых параметров прокатки были сопоставлены с расчетными значениями. Проведенное моделирование показало практически полное соответствие энергосиловых показателей прокатки свинцовой полосы на лабораторном маятниковом стане полученных этим методом и расчетным. Результаты исследования приведены в научной статье [12].

В рамках курсового и дипломного проектирования была проведена проверка на прочность наиболее нагруженных деталей и узлов лабораторных маятниковых станов. Расчеты проводились при характерных для этих лабораторных станов технологических параметрах прокатки свинцовой заготовки сечением 9,6 мм × 36 мм на полосу с высотой 1,6 мм при различных подачах металла на один ход рабочего валка до 2 мм и числе двойных ходов маятников 60 в минуту. Несмотря на большие обжатие и вытяжку ($\lambda=6$) свинцовой полосы в маятниковом лабораторном стане, незначительное в силу специфики периодической прокатки усилие (5,5 кН), приходящееся на рабочий валок, не вызывает в конструкции напряжений близких к критическим. Таким образом, прочностные расчеты показы-

вают достаточный запас прочности конструкции лабораторных маятниковых станов, а энергетические расчеты - достаточность для обеспечения процесса прокатки в маятниковой клетке электродвигателя мощностью 1,5 кВт (4A100L8Y3).

Заключение

Незначительные габариты стана 1300x530 мм и невысокие расчетные значения весовых характеристик входящих в него деталей и механизмов 220 кг обуславливают возможность изготовления и запуска маятникового лабораторного стана, работы над которым на кафедре сейчас находятся в стадии рабочего проектирования. Учитывая, что при изготовлении лабораторного стана предусмотрено приобретение небольшого количества покупных изделий (эл. двигатели, зубчатые колеса, шестерни), а большая часть деталей может быть выполнена с использованием лабораторных баз кафедры и Университета, реальность осуществления проекта представляется очевидной. Изготовление лабораторного маятникового стана и проведение на нем экспериментальных исследований могут явиться доказательной базой работоспособности выбранной конструктивной схемы и послужить основанием для постановки вопроса о разработке промышленного стана.

Список литературы

- [1]. Никитин Г.С., Евстропов Г.М., Арюлин С.Б., Зуев И.Г. Маятниковая прокатная клетка. А.С. СССР №1072326. 1983.
- [2]. Никитин Г.С., Евстропов Г.М., Арюлин С.Б., Зуев И.Г. Маятниковая прокатная клетка. А.С. СССР №1125840. 1984.
- [3]. Никитин Г.С., Евстропов Г.М., Арюлин С.Б., Зуев И.Г. Универсальная клетка маятникового прокатного стана. А.С. СССР №1129798. 1984.
- [4]. Никитин Г.С., Евстропов Г.М., Арюлин С.Б., Зуев И.Г. Маятниковая прокатная клетка. А.С. СССР №1339949. 1987.
- [5]. Арюлин С.Б., Евстропов Г.М. Определение длины мгновенного очага деформации в момент обжатия при прокатке на станах периодического действия // Заготовительные производства в машиностроении. 2003. №3.
- [6]. Галкин М.П., Никитин Г.С., Арюлин С.Б. Маятниковые прокатные станы // Заготовительные производства в машиностроении. 2003. №6. С. 30-32.
- [7]. Арюлин С.Б. Определение длины калибрующего участка на стане периодического действия. Сборник тезисов докладов Всероссийской научно-технической конференции // Машиностроительные технологии. М.: МГТУ им Н.Э. Баумана. 2008. 296с.
- [8]. Арюлин С.Б., Камоничкин Д.Т. Определение параметров очага деформации при прокатке на маятниковом стане // Заготовительные производства в машиностроении. 2015. №9. С. 32-40.

- [9]. Арюлин С.Б., Халипов И.В. Определение величины и направления сил, действующих на рабочий валок маятниковой прокатной клетки // Заготовительные производства в машиностроении. 2014. №5. С.23-26.
- [10]. Арюлин С.Б., Халипов И.В. Определение профиля опорного вала маятникового прокатного стана // Заготовительные производства в машиностроении. 2014. №8. С.31-35.
- [11]. Арюлин С.Б., Камоничкин Д.Т. Теоретическое определение параметра геометрии очага деформации при маятниковой прокатке // Заготовительные производства в машиностроении. 2016. №7. С.39-44.
- [12]. Арюлин С.Б., Шинкаревич Ю.П. Исследование лабораторного маятникового стана // Заготовительные производства в машиностроении. 2013. №4. С.29-34.