

## **РЕГУЛИРУЕМЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД РУЛОННОЙ ЗАПРАВКИ БОБИНОРЕЗАЛЬНОЙ МАШИНЫ**

**В работе рассматривается моделирование в среде Matlab-Simulink регулируемого электропривода переменного тока механизма перемещения рулонной заправки бобинорезальной машины на основе анализа и расчета технологического цикла его работы. Исполнительный асинхронный короткозамкнутый электродвигатель представлен в модели на основании теории обобщенной машины. Приведены результаты расчета работы электропривода, обрабатывающего технологический цикл.**

**Ключевые слова:** полиграфия, регулируемый электропривод моделирование.

Существует группа оборудования полиграфического производства, требующая применения регулируемого электропривода в силу необходимости обеспечения разнообразных технологических процессов, которые по своей сути всегда являются регулируемыми. К такому оборудованию относится и бобинорезальная машина, на которой выполняется технологическая операция продольной резки рулонного материала, имеющего различную плотность (бумага разных сортов; картон; переплетные материалы; марля полиграфическая; нетканые материалы; полимерные материалы, например, бумаги, переплетных материалов колеблется от 30 до 240 г/м<sup>2</sup>). Машина применяется в полиграфических, картонажно – полиграфических предприятиях, а также на предприятиях легкой и других отраслей промышленности. Исходным для бобинорезальной машины является рулон материала и в силу выше высказанного имеющий различный вес. Рулон устанавливается в рулонную заправку на

позиции загрузки ( $\alpha_{\min} = 20^\circ$ ) и зажимается двумя механизмами зажима (рис. 1). На позицию размотки ( $\alpha_{\max} = 70^\circ$ ) рулон поднимается рычагами рулонной зарядки, приводящимися через кинематику электродвигателем (рис. 2). После израсходования материала рулона

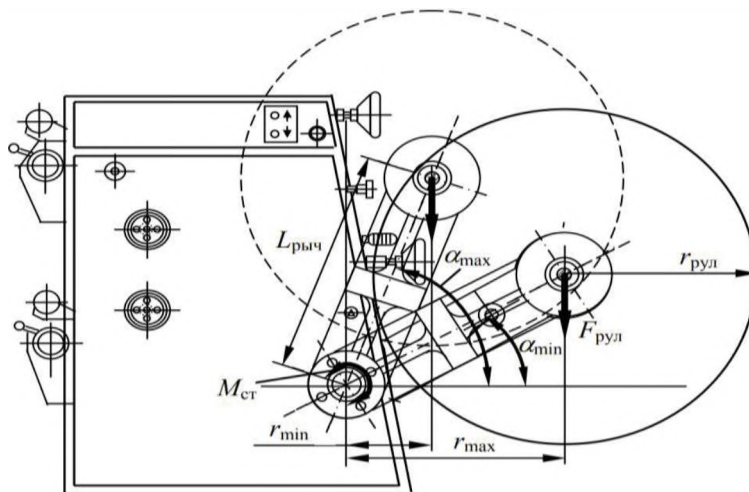


Рис. 1. Рулонная заправка бобинорезальной машины

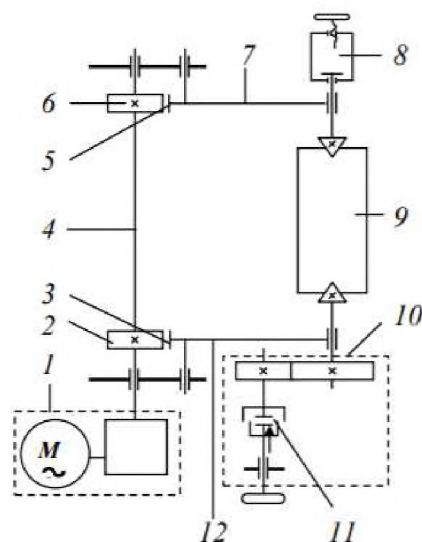


Рис. 2. Кинематическая схема

- 1 – мотор – редуктор; 2 – левая шестерня поворотного вала; 3 – левый зубчатый сектор; 4 – поворотный вал; 5 – правый зубчатый сектор; 6 – правая шестерня поворотного вала; 7 – правый рычаг с устройством закрепления рулона; 8 – устройство ручной осевой привода рулона; 9 – рулон; 10 – устройство подтормаживание рулона; 11 – фрикционная муфта сцепления; 12 – левый рычаг с устройством закрепления рулона

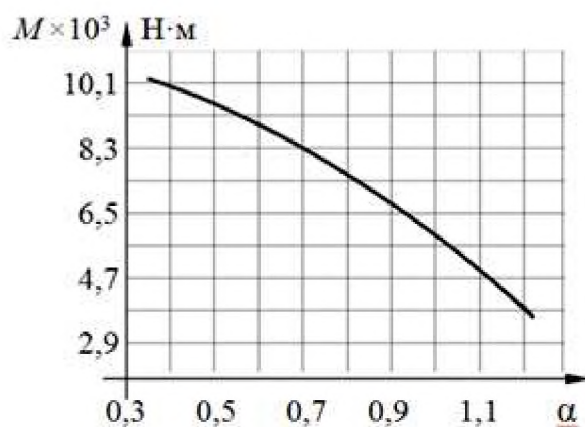


Рис. 3. Зависимость момента статического сопротивления рулонной заправки в функции угла поворота рычага подъема рулона

он опускается на позицию загрузки этими же рычагами. Анализ работы механизма рулонной зарядки приводит к выводу о том, что активный момент статического сопротивления на валу приводного электродвигателя не одинаков по значению и имеет максимальное значение в момент отрыва рулона из начального положения, что показал результат его несложного расчета в среде *Mathcad*, например, по техническим характеристикам бобинорезальной машины марки 2БП–120У (рис. 3). В этой же программе на основании предыдущего расчета проведен выбор типоразмера электродвигателя по мощности и скорости, а также вычисление параметров эквивалентной схемы электродвигателя по методике, изложенной в [1], и используемые при моделировании разработанного электропривода. Указанный механизм рулонной зарядки оборудован электроприводом на основе нерегулируемого асинхронного короткозамкнутого электродвигателя. Этими данными являются: АИР71А4 –  $P_{НОМ} = 0,55$  кВт;  $n_{НОМ} = 1360$  об/мин;  $\eta_{НОМ} = 71\%$ ;  $\cos \varphi_{НОМ} = 0,71$ ;  $R_1 = 13,79$  Ом;  $R_2 = 14,38$  Ом;  $L_s = 0,6196$  Гн;  $L_r = 0,6156$  Гн;  $L_m = 0,5694$  Гн;  $J = 0,0013$  кг·м<sup>2</sup>.

Другой вывод из анализа указывает на необходимость обратить внимание на динамические режимы нерегулируемого электропривода, поскольку известно, что прямой пуск электродвигателя сопровождается большими пусковыми токами и, как следствие, электромагнитными моментами колебательного характера. Моменты негативно воздействуют на кинематику, имеющую люфты и зазоры, и приводят к ее износу. Поэтому предлагается формировать процессы пуска и торможения регулируемым электроприводом, поскольку установившееся движение рулона при подъеме и опускании

равномерное со скоростью не требующей регулирования и поэтому не вызывает интереса. В качестве регулируемого электропривода для данных режимов с технической точки зрения рассмотрим электропривод с полупроводниковым регулятором напряжения переменного тока, на выходе которого оно формируется ШИМ – управлением [1]. Разработанная модель предлагаемого электропривода в вычислительной среде Matlab – Simulink приведена на рисунке 4.

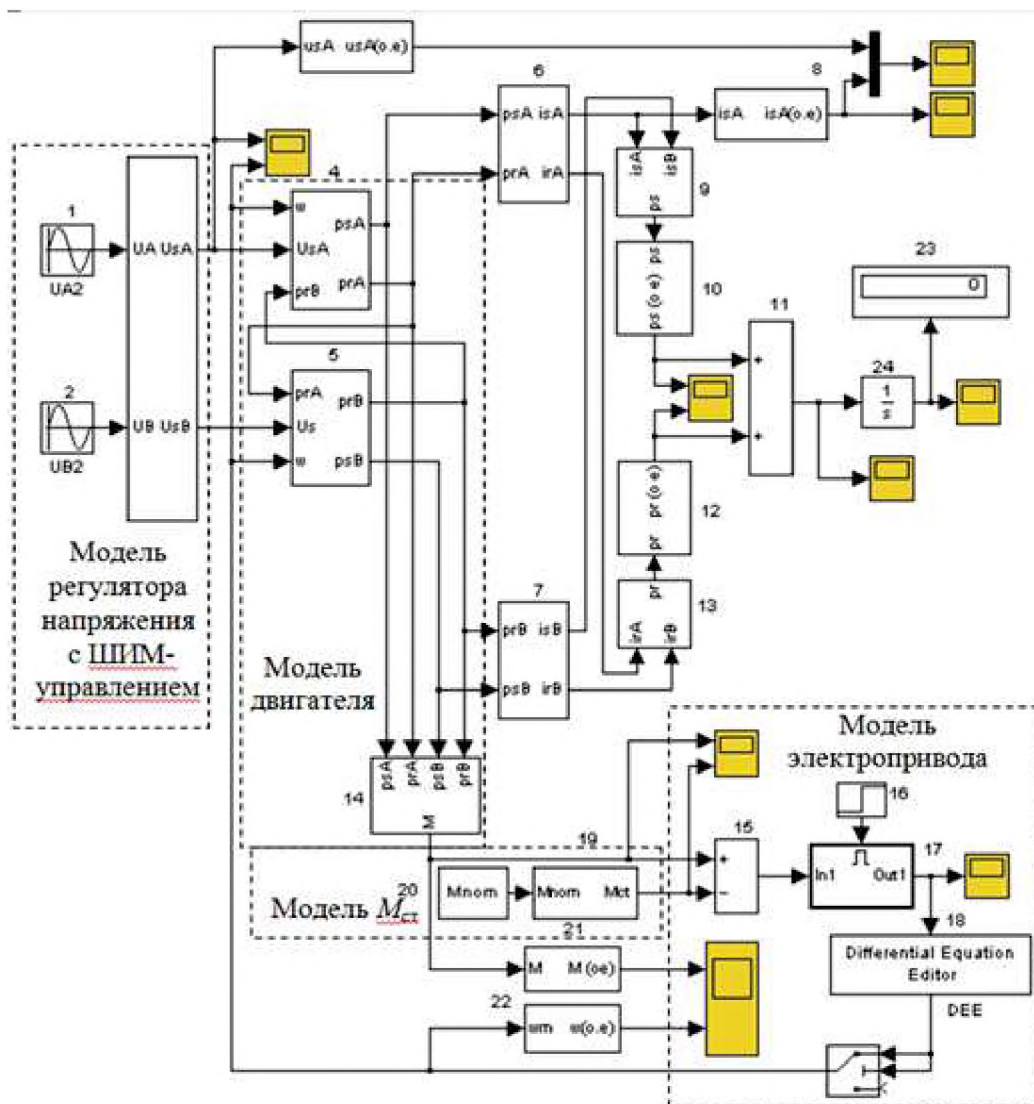


Рис. 4. Модель регулируемого электропривода с ШИМ – управлением

Модель регулятора напряжения с ШИМ–управлением формирует широтно-импульсное напряжение питания обмоток статора асинхронного электродвигателя в динамических режимах работы механизма подъема рулонной зарядки, что позволяет создавать их управляемые процессы по времени, развитию электромагнитного момента, а, следовательно, и скорости. Модель двигателя построена на основании теории обобщенной машины в системе координат, учитывающей несинусоидальность выходного напряжения регулятора [1]. Модель момента статического сопротивления  $M_{ст}$  реализует зависимость, приведенную на рисунке 3. Модель электропривода решает уравнение движения электропривода. Один из результатов расчета цикла подъема рулона на позицию зарядки приведен на рисунке 5.

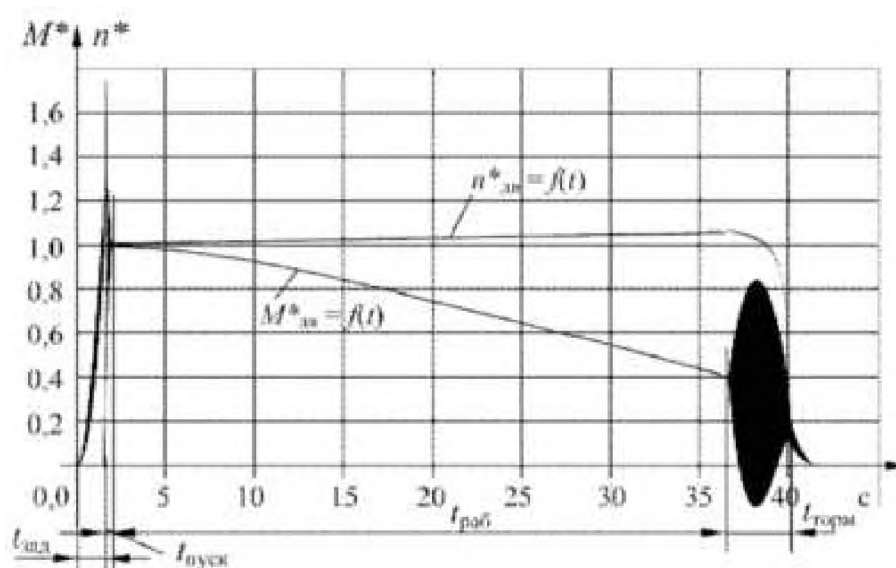


Рис. 5. Эпюры скорости и электромагнитного момента электропривода

Анализ результатов расчетов нескольких режимов позволяют сделать некоторые выводы о динамических и установившихся процессах электропривода для рассматриваемого механизма. Для рассматриваемого формирования ШИМ–напряжения характерно запаздывание развития электромагнитного момента двигателя до значения равного моменту статического сопротивления, после которого начнется движение рабочего органа (рычага подъема рулона). Этот процесс стоит положительно оценить, поскольку за это время механический момент, создающийся на валу двигателя, постепенно проворачивает звенья кинематики, выбирая люфты и зазоры как бы

натягивая кинематические звенья для безударного начала движения механизма. Действующее значение напряжения питания электродвигателя продолжает создаваться широтно-импульсным способом, вызывая его максимальные значения. Чем быстрее нарастает это напряжение на обмотках статора двигателя, тем большие значения приобретает максимальный момент. Отсюда рекомендации, состоящие в том, что целесообразно задавать длительности формирования ШИМ – напряжения достаточно большие, соразмерные в процентном отношении с общей длительностью рабочего цикла. Процесс пуска при этом не всегда завершается, а продолжается уже при синусоидальном напряжении (рис. 6).

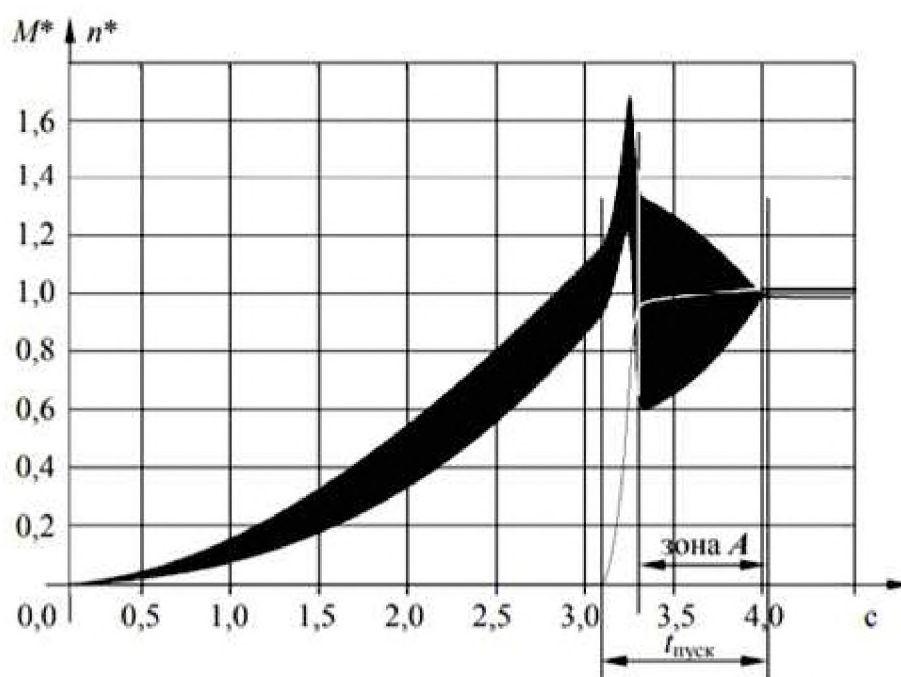


Рис. 6. Фрагмент (пуск) эпюр скорости и электромагнитного момента электропривода

На эпюре момента (рис. 6) можно выделить и ту часть, когда механические характеристики электропривода образуются ШИМ – напряжением после перехода скорости ротора за значение критического скольжения (зона А). Здесь осуществляется работа электропривода на механических характеристиках двигателя, соответствующих скольжениям меньше критического. Рабочая часть цикла подъема рулона характеризуется четкой повторяемостью зависимости момента статического сопротивления (рис. 3) и соответствующего изменения скорости – ее увеличение в силу

уменьшения момента статического сопротивления. Торможение электропривода приводит рулон на позицию заправки также управляемым приемом формирования ШИМ–напряжения, образуя определенное замедление скорости. Здесь можно этот процесс создать тремя вариантами. В одном случае – заданием такой продолжительности формирования ШИМ–напряжения, при которой электромеханический момент на валу двигателя уравнивается по значению с моментом статического сопротивления и механизм остановится на позиции загрузки. В другом случае – формирование ШИМ–напряжения закончилось, а электропривод остановится за счет так называемого самовыбега. Самовыбег проявляется и в третьем варианте, когда формирование ШИМ–напряжения продолжается и его действующее значение не создает необходимого электромагнитного момента для торможения ротора. В рассматриваемом механизме рулонной заправки при его торможении создаются условия остановки механизма после прекращения действия электромагнитного момента двигателя за счет естественного самоторможения кинематических передач при обратном потоке механической энергии, особенно в мотор–редукторе. Предлагаемая модель в определенной степени является универсальной. Коррекция блока задания угла управления ШИМ–напряжения в модели полупроводникового регулятора напряжения переменного тока переводит его в режим работы устройства плавного пуска (soft starter), т. е. регулятора с фазовым управлением. Исключение из модели блока задания угла управления переводит ее в модель электропривода при прямом включении электродвигателя на синусоидальное напряжение питания. Модель содержит блоки вычисления греющих потерь в обмотках статора и ротора для оценки теплового состояния электродвигателя, в том числе и для проверки правильности выбора его по мощности.

**Заключение.** Предлагаемая модель регулируемого электропривода с ШИМ–управлением адекватно отражает его динамические и установившиеся процессы при выполнении технологического цикла механизма рулонной заправки бобинорезальной машины. Результаты расчета на модели следует использовать при наладке реального электропривода рассматриваемого механизма в части задания времени пуска и торможения для оптимизации выполнения его технологического цикла.

## Библиографический список

1. Беяев В. П., Давидович Л. М. Электромеханика. Электромеханическое преобразование при частотном управлении электрическими машинами. Минск: Изд - во БГТУ, 2004. 82 с.

2. Беяев В. П. Электрооборудование полиграфических машин. Минск: Изд - во БГТУ, 2012. 207 с.

**Беяев Валерий Павлович**, кандидат технических наук, доцент (Беларусь), доцент кафедры «Полиграфическое оборудование и системы обработки информации» Белорусского государственного технологического университета

Адрес для переписки: [beliaev@belstu.by](mailto:beliaev@belstu.by)

**Филенко Наталья Ивановна**, инженер кафедры «Оборудование и технологии полиграфического производства» Омского государственного технического университета (SPIN – код 7806 – 6707).

Адрес для переписки: [nifilenko@omgtu.tech](mailto:nifilenko@omgtu.tech)

Статья поступила в редакцию 10.04.2021