

Д.В. ДЗЮИН, аспирант, ассистент

(РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина)

Научный руководитель В.В. ДМИТРИЕВА, к.т.н., доцент

(РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина)

г. Москва

## ЧАСТОТНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ МНОГОДВИГАТЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ШАХТНОГО ЛЕНТОЧНОГО КОНВЕЙЕРА

**Введение.** Эксплуатирующиеся на действующих угольных шахтах подземные ленточные конвейеры производительностью в сотни т/ч имеют довольно непостоянный по величине грузопоток, что негативно оказываетя на технических и энергетических параметрах электроприводного оборудования и ленты. Применяемый для снижения суммарного тягового усилия многодвигательный многобарabanный электропривод шахтных ленточных конвейеров под действием переменного момента сопротивления работает в условиях неравномерной загрузки, с перегревом или с низкой развиваемой мощностью отдельных агрегатов, с пробуксовками ленты в переходных режимах. В соответствии с современными стратегиями энерго- и ресурсосбережения, как отечественные авторы [1, 2], так и зарубежные [3, 4] для решения вышеупомянутых проблем рекомендуют регулировать скорость ленты в соответствии с величиной фактической загрузки конвейера методом внедрения частотно-регулируемого электропривода (ЧРП). Исходя из этого, возникает актуальная задача разработки системы частотно-регулируемого многодвигательного электропривода шахтного ленточного конвейера.

**Методы.** Решение задачи внедрения многодвигательного ЧРП рассматривается на примере универсального объекта исследования – шахтного ленточного конвейера марки 2Л100У-01 с трёхдвигательным двухбараным асинхронным редукторным приводом. Его параметры, схема и разработанная компьютерная модель в MATLAB/Simulink приведены в [5].

Выбран метод непрерывного регулирования скорости конвейера, который, в отличие от дискретного регулирования, не имеет статическую ошибку по скорости в размере 10...15% от заданной и позволяет обеспечить довольно высокий коэффициент заполнения конвейера, равный 95...98,5% [4]. При этом скорость привода  $v(t)$  изменяется по синусоидальному закону:

$$v(t) = v_0 + \frac{v_{\text{зад}} - v_0}{2} \left( 1 - \cos \left( \frac{2a_{\max}(t - t_0)}{v_{\text{зад}} - v_0} \right) \right), \quad (1)$$

где  $v_0$  – скорость ленты в начальный момент времени  $t_0$ ;  $v_{\text{зад}}$  – заданная скорость ленты;  $a_{\text{max}}$  – максимально допустимое ускорение (замедление) привода, рассчитанное для конвейера 2Л100У-01 равным  $0,1 \text{ м/с}^2$  [5] для предотвращения перегрузки и пробуксовки.

Ввиду того, что заводские параметры приводного оборудования имеют допустимое отклонение  $\pm 5\%$ , а также согласно [1, 3] необходимо индивидуально регулировать скорость каждого приводного барабана, разработана система управления ЧРП с выравниванием нагрузок между отдельными асинхронными двигателями (АД), показанная на рис. 1. Каждый АД оснащается своим преобразователем частоты с системой прямого управления момента (Direct Torque Control – DTC), чтобы реализовать функции регулирования скорости (регулятор РС) в соответствии с профилем (1) и индивидуального регулирования момента (регуляторы РМ) в зависимости от величин ошибки угловой скорости  $\Delta\omega$  и момента  $\Delta M$  каждого двигателя.

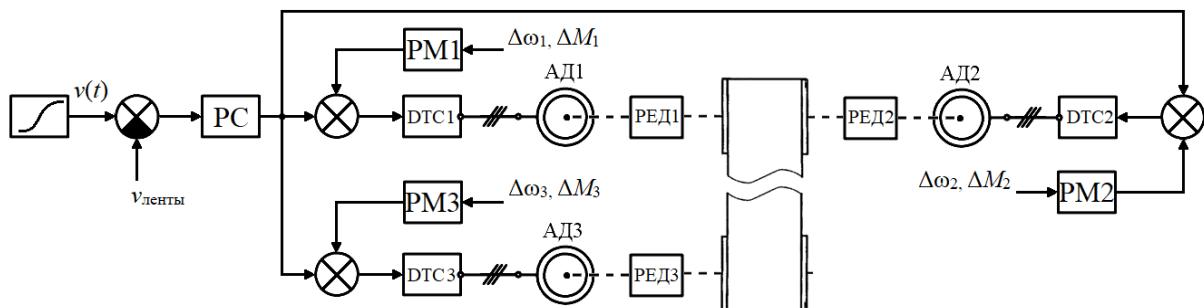


Рис. 1. Система управления многодвигательным ЧРП конвейера

В разработанной системе ЧРП применяются взрывозащищенные преобразователи частоты с трехфазным вводом 380 В, максимальной потребляемой мощностью 179 кВА при подключении АД 110 кВт, диапазоном выходной частоты 0...400 Гц и точностью поддержания частоты  $\pm 0,5\%$  при векторном управлении.

**Результаты** моделирования, выполненного в MATLAB/Simulink, приведены на рис. 2. На рис. 2, а) временные диаграммы электромагнитного момента  $M_{AD}$  каждого из трёх АД иллюстрируют нежелательный режим работы электропривода без системы выравнивания нагрузок: АД2 работает как генератор с отрицательной нагрузкой, в то время как АД1 двукратно перегружен. Выровненные величины нагрузки каждого АД, приведённые на рис. 2, б), обеспечивает разработанная схема ЧРП с индивидуальным регулированием момента. Осциллограммы скоростей привода и ленты на рис. 2, в) демонстрируют хорошие динамические характеристики как при пуске, так и при регулировании вниз от номинальной скорости.

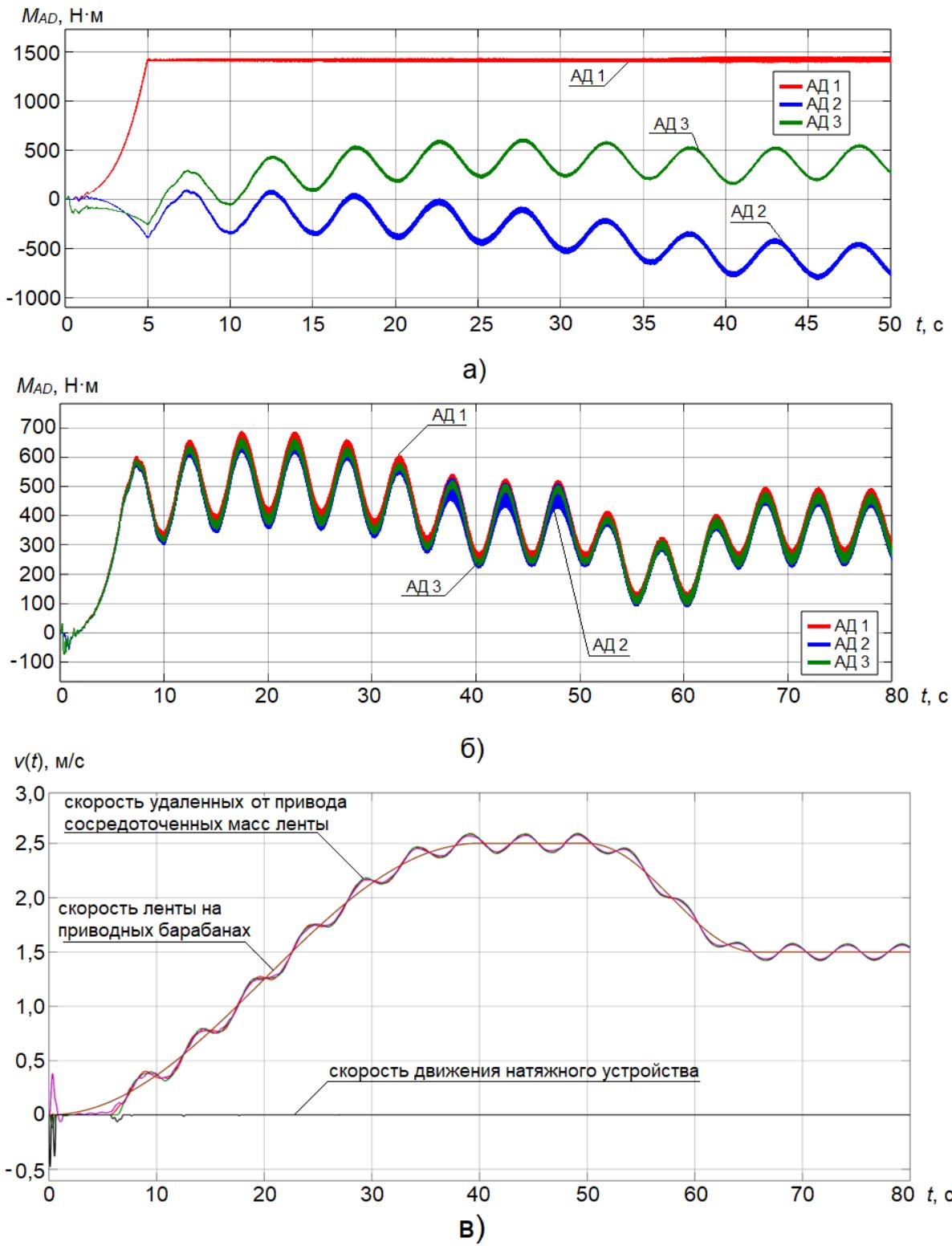


Рис. 2. Результаты моделирования работы электропривода конвейера 2Л100У-01 в MATLAB/Simulink

**Выводы.** Разработанная и промоделированная в программном комплексе MATLAB/Simulink система многодвигательного ЧРП шахтного ленточного конвейера 2Л100У-01 позволяет регулировать скорость ленты

в условиях переменной загрузки конвейера. Изменение скорости и ускорения привода по синусоидальному закону гарантирует наименьшую возможную величину рывков и полное отсутствие проскальзывания ленты. С учетом того, что время изменения величины грузопотока исчисляется минутами, синусоидальный профиль оказывается способен обеспечить требуемый уровень быстродействия системы управления скоростью конвейера без скачкообразных изменений величины ускорения привода. Также система автоматического управления ЧРП с синхронизацией скоростей АД и индивидуальной корректировкой моментов позволяет реализовать равномерное распределение суммарной мощности многодвигательного привода между всеми агрегатами, в том числе при отклонениях параметров оборудования от номинальных значений.

#### Список литературы:

1. Дмитриев В. Г. Основы теории ленточных конвейеров / В. Г. Дмитриев, А. П. Вержанский. – М.: Горная книга, 2017. – 572 с. – ISBN 978-5-98672-457-7.
2. Корнеев С. В., Зотов В. А., Доброногова В. Ю., Долгих В. П. Система автоматического регулирования скорости шахтных ленточных конвейеров с упреждением // Наукоемкие технологии и оборудование в промышленности и строительстве, 2020. – №21(64). – С. 61-67.
3. Vasić M., Miloradović N., Blagojević M. Speed control of high power multiple drive belt conveyors // Research and Development in Heavy Machinery. – 2021. – Т. 27. – № 1. – С. 9–15. – DOI: 10.5937/IMK2101009V.
4. He D., Pang Y., Lodewijks G., Liu X. Healthy speed control of belt conveyors on conveying bulk materials // Powder technology. – 2018. – Т. 327. – С. 408-419. – DOI: 10.1016/j.powtec.2018.01.002
5. Дзюин Д. В., Дмитриева В. В. Система частотно-регулируемого многодвигательного электропривода шахтного ленточного конвейера с прямым управлением моментом // Горное оборудование и электромеханика. – 2025. – № 3 (179). – С. 3-13. – DOI: 10.26730/1816-4528-2025-3-3-13.

#### Информация об авторах:

Дзюин Дмитрий Владленович, аспирант, ассистент, РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, 119991, г. Москва, пр. Ленинский, д. 65, к. 1, dzyuin.d@gubkin.ru

Дмитриева Валерия Валерьевна, к.т.н., доцент, РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, 119991, г. Москва, пр. Ленинский, д. 65, к. 1, teep@gubkin.ru