

Введение Недостатком вибрационных машин резонансного типа является резкое увеличение амплитуд колебаний при прохождении зоны резонанса в процессе пуска и выбега, резонансные амплитуды могут значительно превосходить амплитуды колебаний при установившемся режиме работы, что является недопустимым с точки зрения нормальной эксплуатации. Резонансные раскачки сопровождаются сильным шумом, соударением витков пружин и вызывают значительные динамические нагрузки на поддерживающие конструкции и электропривод. Для снижения уровня колебаний во время прохождения через резонанс применяется ряд способов. В числе этих способов отметим использование вибровозбудителей с автоматически или вручную регулируемым статическим моментом дебалансов (при прохождении через резонанс статический момент уменьшается); использование двигателей с повышенным пусковым моментом; управляемое изменение жесткости упругих элементов; торможение противовключением и способом динамического торможения [1]. Для уменьшения амплитуды резонансных колебаний, в данной статье рассматривается способ форсированного пуска с помощью конденсаторов и конденсаторного торможения асинхронных дебалансных вибродвигателей (АДВД) в составе вибрационной системы с двумя степенями свободы, характерной для большинства промышленных вибрационных механизмов. Учитывая вышесказанное, задача описания и исследования процесса форсированного пуска с помощью конденсаторов и конденсаторного торможения АДВД вибрационных машин с учетом вибрационного момента нагрузки и момента сопротивления вызванного вращающимися дебалансными массами является актуальной. Математическое описание вибрационной системы с АДВД Рассмотрим поведение АДВД, в процессе пуска и торможения, на примере динамической одномассовой вибрационной системы направленных колебаний с двумя вибродвигателями представленной на рисунке 1. Рис. 1 - Одномассовая вибрационная система направленных колебаний Уравнения движения представленной на рисунке 1 вибрационной системы имеют вид[2]: (1) (2) (3) где m – масса виброплатформы с грузом; y и x – смещение виброплатформы по осям Y и X ; b_y и b_x – коэффициенты сопротивления системы по осям Y и X ; k_y и k_x – жесткости упругих связей по осям Y и X ; m_{0i} – масса i -го дебаланса; R_i – эксцентриситет i -го дебаланса; g – ускорение свободного падения; J_i – приведенный момент инерции i -го электродвигателя; $M_{ЭM_i}$ – электромагнитный момент на валу i -го электродвигателя; $M_{МEX_i}$ – момент сопротивления на валу i -го электродвигателя, обусловленный механическими потерями; $M_{ВИБР_i}$ – вибрационный момент на валу i -го электродвигателя; ω_i – скорость вращения вала i -го электродвигателя. Уравнения (1) и (2) описывают движение виброплатформы согласно второму закону Ньютона в проекциях на оси X и Y соответственно, а уравнения (3) – равновесие моментов на валу i -го двигателей соответственно. Вибрационный момент i -го вибродвигателя имеет

две составляющие: 1. – составляющая, обусловленная наличием смещения системы по оси Y и проекции центробежной силы i-го АДВД на оси X, где F_{Xi} определяется по формуле: (4) 2. – составляющая, обусловленная наличием смещения системы по оси X и проекции центробежной силы i-го АДВД на оси Y, где F_{Yi} определяется по формуле: . (5) 3. Результирующее значение вибрационного момента, приложенного к валу i-го АДВД, определяется формулой: (6) Схема, обеспечивающая форсированный пуск и конденсаторное торможение имеет последовательно включаемые с обмотками статора конденсаторы, отключаемые после завершения процесса пуска и торможения АДВД. При пуске электромагнитные процессы в каждом АДВД описываются по выражениям: (7) Здесь u_A, u_B, u_C – значения фазных напряжений статора, в процессе торможения соответствующие напряжения равны нулю; $R_A, R_B, R_C, R_a, R_b, R_c$ – активные сопротивления обмоток статора и приведенные активные сопротивления обмоток ротора; $i_A, i_B, i_C, i_a, i_b, i_c$ – фазные токи статора и ротора; $\psi_A, \psi_B, \psi_C, \psi_a, \psi_b, \psi_c$ – потокосцепления статорных и роторных обмоток; u_{CA}, u_{CB}, u_{CC} – падение напряжения на конденсаторах в фазах двигателя. Потокосцепление АДВД определяется выражением в матричной форме: , (8) где $[\psi] = [\psi_A, \psi_B, \psi_C, \psi_a, \psi_b, \psi_c]$ – матрица-столбец потокосцеплений; $[i] = [i_A, i_B, i_C, i_a, i_b, i_c]$ – матрица-столбец токов; $[M]$ – матрица индуктивностей, F – коэффициент, относительной частоты самовозбуждения АДВД в процессе торможения, при пуске $F=1$. Коэффициент относительной частоты самовозбуждения АДВД определяется выражением: , (9) где f – частота питающего напряжения, C – емкость тормозных конденсаторов, L – эквивалентная индуктивность машины. В связи с тем, что электрические машины в различные моменты времени (особенно это касается переходных режимов) работают на различных участках кривой намагничивания $B=f(H)$, в математической модели учитывается изменение степени насыщения машины при различных режимах работы. Учет насыщения по цепи основного магнитного потока в модели определяется изменением индуктивностей, величина которых состоит из независимой от насыщения составляющей, и переменной составляющей – : , (10) где переменная составляющая индуктивностей достаточно точно определяется квадратичной зависимостью от результирующего вектора потокосцепления ψ_m [3]: , (11) причем коэффициент k зависит от марки электротехнической стали. Падение напряжения на пусковых и тормозных конденсаторах в фазах двигателя определяется из выражений: (12) где C – эквивалентная емкость пусковых или тормозных конденсаторов. Уравнение электромагнитного момента с учетом вышесказанного определяется: (14) где M – взаимная индуктивность; p – число пар полюсов АДВД. Методика исследования Представленная система нелинейных дифференциальных уравнений эффективно решается с помощью вычислительной техники с использованием численных методов интегрирования и дифференцирования. Для этих целей была создана математическая модель

рассматриваемой вибрационной системы и асинхронного дебалансного электродвигателя с конденсаторами в программной среде MBTU 3.7, проведены исследования пуско-тормозных режимов работы машины. Результаты математического моделирования Основные параметры вибротранспортера: $m=56$ кг, $b_y=b_x=1150$ Н/м, $k_y=k_x=316000$ кг·м/с². Тип вибродвигателя ИВ – 105 – 2 на базе АДВД с параметрами: $P_H=1,1$ кВт, $n_H=1450$ об/мин, $R_1=9,53$ Ом, $L_1=0,037$ Гн, $R_2=5,619$ Ом, $L_2=0,029$ Гн, $L_m=0,447$ Гн, $J_d=0,0026$ кг/м², $m_0=1,5$ кг, $r_0=0,05$ м. На рисунке 2 представлены расчетные осциллограммы изменения частоты вращения АДВД и амплитуды колебаний зарезонансной вибрационной системы при прямом пуске и выбеге. Из осциллограмм можно заключить, что в процессе разгона имеющиеся максимальные амплитуды переходного процесса существенно зависят от пускового электромагнитного момента АДВД, а при выбеге – определяются конструктивными особенностями машины и величиной сил сопротивления. Рис. 2- Частота вращения АДВД и смещение системы по оси Y при прямом пуске и выбеге На рисунке 3 представлены характеристики изменения частоты вращения АДВД и амплитуды колебаний системы при форсированном пуске с помощью конденсаторов и конденсаторном торможении. Очевидно, что наибольший пусковой момент достигается при равенстве сопротивления конденсаторов и индуктивного сопротивления АДВД в пусковом режиме. Для рассматриваемого вибропривода $C_P = 170$ мкФ. Определено, что оптимальный тормозной момент, для данной резонансной частоте вибрационной системы, достигается при минимальной тормозной емкости $C_T = 200$ мкФ. В ходе исследований было установлено, что использование конденсаторов последовательно подключаемых к обмоткам статора АДВД во время пуска существенно повышает пусковой электромагнитный момент двигателя и позволяет уменьшить за счет быстрого прохождения вибрационной системой зоны резонанса значения резонансных амплитуд колебаний. Кроме того, анализ результатов исследования режимов конденсаторного торможения позволяет заключить, что полученный тормозной момент АДВД ведет к ускоренному прохождению механической системы области резонансных частот. Это обстоятельство также приводит к уменьшению соответствующих резонансных амплитуд колебаний вибрационной системы, наблюдаемые в процессе торможения выбегом. Следовательно, уменьшение указанных амплитуд может позволить существенно увеличить период межремонтного пробега вибрационных систем и узлов в них входящих. Предполагается, что использование форсированного пуска с помощью конденсаторов и конденсаторного торможения возможно для любых типов и мощностей асинхронных дебалансных вибродвигателей. Следует отметить, что с увеличением мощности АДВД будет возрастать величина значений емкости пусковых и тормозных конденсаторов. Рис. 3- Частота вращения АДВД и смещение системы по оси Y при конденсаторном пуске и конденсаторном

торможении Опытный образец рассматриваемого вибропривода был внедрен в 2010 году при модернизации линии резиносмещения в подготовительном производстве ОАО «Нижекамскшина». Результаты промышленных испытаний и успешный опыт эксплуатации подтвердили теоретические и расчетные данные.

Выводы 1. Анализ результатов исследований показывает, что форсированный пуск с помощью конденсаторов и конденсаторное торможение позволяют добиться надежного прохождения АДВД резонансной области в переходных процессах, исключив тем самым критические режимы работы вибрационной машины. 2. Предполагается, что использование форсированного пуска с помощью конденсаторов и конденсаторного торможения возможно для любых типов и мощностей асинхронных дебалансных вибродвигателей.

3. Представленная математическая модель позволяет с необходимой точностью проводить исследования переходных установившихся процессов электропривода при различных параметрах АДВД, вибрационной системы, пусковых и тормозных конденсаторов.