

ЭНЕРГОСИСТЕМЫ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ

УДК 62-272.3

**ШУМОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛИФТОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ В
ПЕРЕХОДНЫХ РЕЖИМАХ**

В.И. Афонин¹, Н.П. Бадалян¹, А.М. Аветисян²

¹*Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых*

²*Национальный политехнический университет Армении*

Рассмотрены источники виброшумоактивности двигателей привода лифтов в переходных режимах. Для измерения уровней шума машин в стационарных и переходных режимах был использован высокоточный измеритель типа 00014 фирмы RTF (Германия), а для измерения вибраций - анализатор вибрации типа 2511 фирмы “Брюль и Кьер” (Дания). Приведены экспериментальные данные. Показано, что при пуске и торможении двигателя привода лифтов, в отличие от асинхронных двигателей общего назначения, имеют более широкий и насыщенный спектр электромагнитных сил и сил, вызывающих вибрацию, которые возникают вследствие переходных электромагнитных и электромеханических воздействий. Проведен комплекс экспериментальных исследований, результаты которых позволили определить зависимость шумовых характеристик двухскоростных двигателей от режима работы, числа пазов ротора и т.п. Полученные результаты использованы при разработках лифтовых двигателей.

Ключевые слова: виброшумоактивность, лифтовый двигатель, переходный режим, экспериментальные данные.

Введение. В настоящее время лифты являются неотъемлемой частью среды обитания человека. Воздействие шума на человека внутри жилых и производственных помещений характеризуется уровнем звукового давления во временном режиме “быстро/медленно”, а также в режиме “импульс”.

Уровень звукового давления в машинном помещении, где установлена лифтовая лебёдка, не является определяющим фактором, так как люди там постоянно не находятся. Однако в помещениях, где живут и работают люди, он обычно важнее.

Несмотря на то, что в исследованиях шумов двигателей в стационарных режимах их работы достигнуты определённые успехи, следует отметить, что вопросам контроля шума и вибрации двигателей в динамических режимах посвящено мало работ.

Методы исследования. Для лифтовых механизмов с асинхронным

приводом основным источником повышенной вибрации и шума в динамических (переходных) режимах работы являются динамические моменты и электромагнитные силы, возникающие вследствие переходных электромагнитных и электромеханических процессов. Уровни, время действия и частотный спектр переходных вибраций (шума) зависят от параметров напряжения питания, параметров электрической машины и начальных условий. К начальным условиям относятся частота вращения ротора двигателя, наличие незатухающих магнитных полей и тока в обмотке ротора при подключении обмотки к сети. Знакопеременные динамические моменты вызывают поворотные вибрации статора и ротора вокруг оси, совпадающей с осью вала машины и параллельной ей. При этом возбуждаются вибрации и шум повышенного уровня в диапазоне частот от 0 до 100 Гц (при частоте питания сети $f_c = 50$ Гц).

Помимо моментов, в статических режимах действуют электромагнитные силы, свойственные и динамическому режиму. Эти силы вызваны взаимодействием гармоник зубцов магнитного поля в воздушном зазоре. По величине электромагнитные силы, как правило, значительно превосходят силы, которые имеют место в установившемся режиме. Это объясняется тем, что в динамических режимах электромагнитные процессы протекают при больших по величине значениях токов в обмотках статора и ротора. Частота сил изменяется с частотой вращения ротора, вследствие чего возбуждаемые ими вибрации и шум на определенной стадии динамического режима могут носить резонансный характер. Частотный спектр вибрации и шума лежит, как правило, в открытом диапазоне свыше 200...400 Гц.

Гармоники силы, имеющие равные порядки и частоты, вращаются или пульсируют при условии равенства их угловых частот по величине и по знаку. Частоты, при которых возникают радиальные силы, обусловленные влиянием металлдвижущих сил (МДС) гармоник зубцов (при равномерном воздушном зазоре), определяем по формулам [1 - 3]

$$f_r = f_0 \left[k \frac{Z_2}{p} (1 - S) \pm 2 \right], \quad f_r = f_0 \left[k \frac{Z_2}{p} (1 - S) \right].$$

Значения f_r , рассчитанные по приведенным выше формулам, приведены в табл.1.

При этом расчеты выполнялись для значений скольжения 1...0 - в случае обмотки большой скорости (режим пуска) и -5...0 - в случае обмотки малой скорости (режим торможения) для электродвигателя с соотношением пар полюсов 2/12.

Частоты сил, которые создают вибрацию от нулевого и четных порядков (2, 4, 6 и т. д.) и возникают от взаимодействия гармоники МДС зоны зубцов с гармоникой проводимости зазора, вызванной распределением зубцов ротора

или наоборот, определяем по формуле

$$f_r = 2f_0 \left[k \frac{Z_2}{p} (1 - S) \pm 1 \right].$$

Результаты расчетов приведены в табл. 2.

Таблица 1

Частоты возникновения радиальных сил от МДС гармоник зубцов

Число пазов ротора	Число пар полюсов	S	Частота f _r при k				
			0	±1		±2	
58	2	1	100	100		100	
		0,5		825	625	1450	1250
		0		1550	1350	3000	2800
	12	-5	100	1550	1350	3000	2800
		-4		1308,5	1108,3	2516,5	2316,5
		-3		1066,6	866,6	2033,2	1833,2
		-2		825,0	625	1549,5	1349,5
		-1		583,3	383,3	1066,6	866,5
		0		341,7	141,7	583,3	383,3

Таблица 2

Частоты сил от взаимодействия МДС зубцовых гармоник с гармониками проводимости зазора

Число пазов ротора	Число пар полюсов	S	Частота f _r при k				
			0	±1		±2	
58	2	1	100	100		100	
		0,5		1550	1350	3000	2800
		0		3000	2800	5900	5700
	12	-5	100	3000	2800	5900	5700
		-4		2516,5	2316,3	4933	4733
		-3		2033,2	1833,2	3966,4	3766,3
		-2		1550	1350	3000	2800
		-1		1066,6	866,6	2033	1833
		0		583,3	383,3	1066,6	866,6

Обсуждение результатов исследования. Сравнение результатов расчёта частот радиальных сил, приведенных в табл. 1 и 2, с частотами собственных колебаний статора [4] показало наличие близости к резонансу при

определённых значениях частот.

Уровни шума в переходных режимах (пуск и торможение) обычно превышают уровни шума в установившихся режимах на 8...12 дБА. Это свидетельствует о повышенной активности электромагнитных сил, возбуждаемых в воздушном зазоре.

Длительность временного интервала повышенной шумовой активности при пуске и торможении двигателя привода лифта соизмерима с длительностью электромагнитных и электромеханических переходных процессов, происходящих в машине. После затухания электромеханических переходных процессов затухают до уровня установившихся значений и колебания электрической машины.

Как обычно, для измерения уровней шума машин в стационарных и переходных режимах использовался высокоточный измеритель шума типа 00014 фирмы RTF (Германия), для измерения вибрации – анализатор вибрации типа 2511 фирмы “Брюль и Кьер” (Дания).

Более подробные исследования проводились с помощью аппаратуры фирмы "Брюль к Кьер", позволяющей осуществлять спектральный и временной анализ кратковременных нестационарных сигналов в реальном времени с их цифровой обработкой. Шум и вибрация двигателей в переходных и установившихся режимах записывались на магнитофон типа 7005. Этот измерительный магнитофон с одним трактом прямой записи/воспроизведения и тремя 4М трактами позволяет вести параллельную запись шума в машине в частотном диапазоне от 20 Гц до 60 кГц и вибрации в диапазоне от 4 Гц до 12,5 кГц.

Для последующей обработки информации использовались частотные анализаторы типа 2131 и 2033.

С помощью анализатора типа 2131 измерялись 1/3 октавные спектры шума и вибрации в установившихся режимах работы двигателя. Для регистрации спектров шума и вибрации в переходных режимах использовалось устройство хранения максимальных уровней в отдельных каналах. С помощью устройства усреднения этого прибора, обеспечивающего усреднение данных по линейному и показательному законам с постоянными времени, исследовалось влияние времени усреднения на уровень шума лифтового двигателя в переходных режимах.

Анализатор типа 2033 является комбинацией быстродействующего цифрового регистратора и основывающегося на быстром преобразовании Фурье узкополосного частотного анализатора.

Динамическое запоминающее устройство прибора емкостью 10240 дискретных значений в сочетании с эффективным устройством управления

запуском позволяет регистрировать дискретные значения исследуемого процесса во временной области. В режиме анализа с разверткой прибор обеспечивает выделение участка из 10240 значений, его перемещение в пределах 10240 значений, хранящихся в запоминающем устройстве. Соответствующие отдельным участкам спектры содержат 400 частотных полос в диапазоне от 0 Гц до 5...20 и более кГц. В соответствии с частотным диапазоном меняется фиксируемая временная область.

Наиболее пригодным для частного анализа шума лифтовых двигателей является диапазон 0...5 кГц. При этом в запоминающем устройстве фиксируется сигнал длительностью 800 мс.

Рассматривая изменение мгновенных значений спектров шума в пределах этого отрезка времени, найдены максимальные составляющие спектра, определены их величины, а также время их проявления от начала переходного процесса. Выборочная запись картин временного развития и спектров шума в переходных режимах осуществлялась с помощью самописца типа 2313, осуществляющего запись в двух координатах.

При анализе результатов испытаний установлено, что уровни шума всех типов двигателей в стационарных режимах максимальны на большей скорости вращения и определяются подшипниковой составляющей. На меньшей скорости уровни шума, как правило, ниже и определяются магнитной составляющей. Поскольку уровень шума подшипников растет с увеличением их габаритов и соответственно нагрузок на подшипники, то трудности со снижением уровня шума возникают чаще на двигателях больших габаритов и при скоростях вращения, близких к 1500 1/мин.

Основными источниками вибрации и шума двигателей в стационарных режимах являются небаланс вращающихся частей и вибрация подшипников.

Поскольку динамика механических переходных процессов в большей степени зависит от инерции системы, при испытаниях двигателей в переходных режимах на рабочий конец вала насаживался маховик, момент инерции которого равен приблизительно половине момента инерции сочленяемого с двигателем механизма. Двигатель при этом крепился к фундаменту через резиновую прокладку.

Интервалы повышенной вибрационной активности двигателя как при пуске, так и торможении - менее 600 мс, при этом уровень сигнала возрастает более чем в 10 раз (20 дБ) по сравнению со стационарным режимом работы.

Если в спектрах вибрации в переходных режимах, как правило, преобладают низкочастотные составляющие, связанные с низкочастотными колебаниями динамического момента, то значительное приращение (до 20 дБ) шума в переходных режимах происходит в широком диапазоне слышимых

частот, т.е. практически по всему спектру.

Картины временного развития и спектры шума переходных режимов даже однотипных машин сильно разнятся, что свидетельствует о зависимости их от технологических разбросов, характеристик жёсткости узлов и их соединений. Изменение же соотношения чисел пазов статора и ротора меняет эту картину в целом, т.е. шум двигателей в переходных режимах всегда имеет электромагнитное происхождение.

Уровень шума подавляющего большинства двигателей при генераторном торможении выше, чем при пуске. Это объясняется взаимодействием остаточного затухающего электромагнитного поля выключаемой обмотки с электромагнитным полем вновь включенной обмотки.

На рис. 1-4 приведены спектрограммы воздушного шума двигателя типа 5 АН200МВ4/24 при пуске и работе на обмотке $p=2$, а также при торможении и работе на обмотке $p=12$.

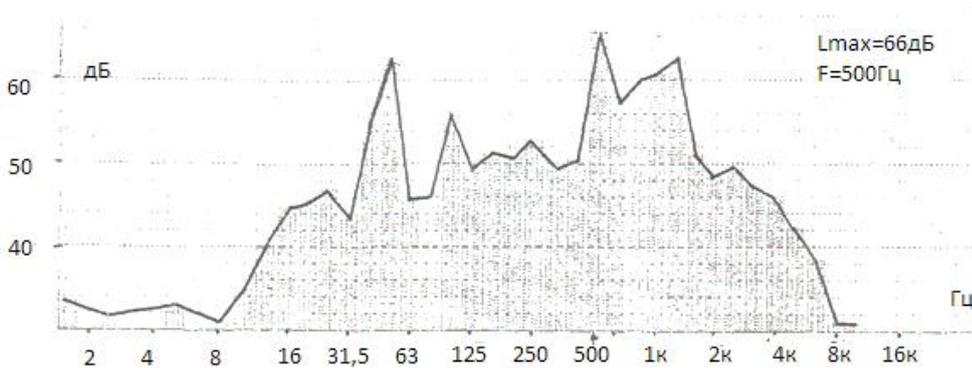


Рис. 1. Спектр шума двигателя 12 кВт ($1500/250$ мин⁻¹) при пуске на обмотке $p=2$ в случае, когда $L_{max} = 66$ дБ, $F = 500$ Гц

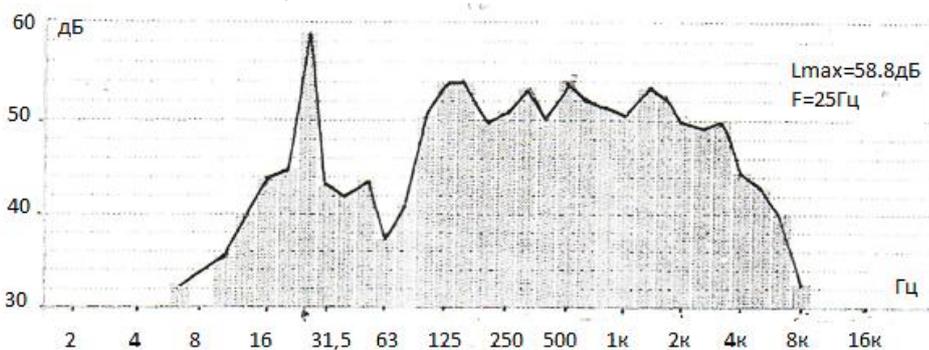


Рис. 2. Спектр шума двигателя 12 кВт ($1500/250$ мин⁻¹) при работе на обмотке $p=2$ в случае, когда $L_{max} = 58,8$ дБ, $F = 25$ Гц

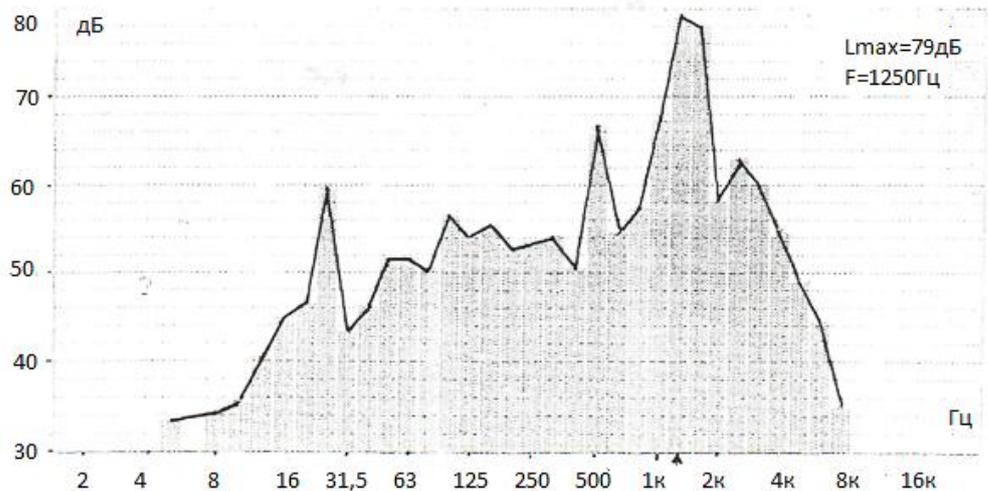


Рис. 3. Спектр шума двигателя 12 кВт (1500/250 мин⁻¹) при торможении на обмотке $p=12$ в случае, когда $L_{max} = 79$ дБ, $F = 1250$ Гц

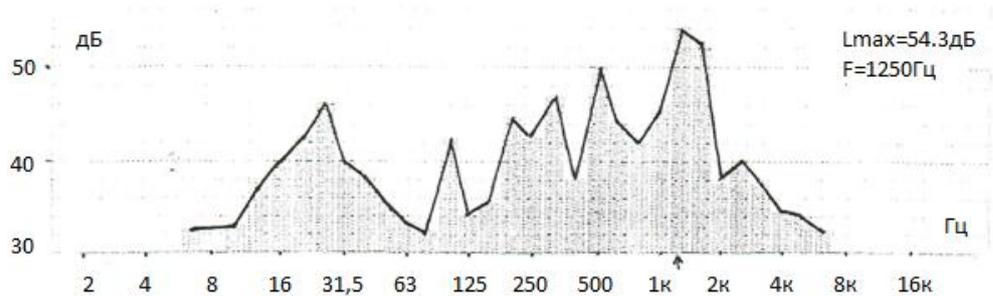


Рис. 4. Спектр шума двигателя 12 кВт (1500/250 мин⁻¹) при работе на обмотке $p=12$ в случае, когда $L_{max} = 54,3$ дБ, $F = 1250$ Гц

Как видно из рисунков, в спектре преобладают составляющие с частотами 25 и 50 Гц (рис. 1 и 2), обусловленными взаимодействием гармоник поля с основной гармоникой, и частотой 1250 Гц (рис. 3 и 4), обусловленной влиянием зубцовых гармоник МДС.

Полученные спектрограммы шумов весьма наглядны и информативны.

На спектрограммах видны дискретные частоты 50, 100, 250, 500 и 1250 Гц при пуске на обмотке $p=2$ (рис. 3) и 25, 50, 100, 1250, 1600 и 3000 Гц при торможении на обмотке $p=12$ (рис. 4). Кроме того, экспериментально установлены частоты, при которых уровни шума при работе на обмотке $p=2$ и торможении на обмотке $p=12$ имеют высокие величины, а именно - 25, 500,

1600 и 3000 Гц (см. табл.1 и 2), т.е. имеются резонансные частоты при переходе с большой скорости на малую, что вызывает повышенный шум при торможении.

Результаты измерений показывают, что шум практически всех двигателей при пуске или при торможении, или в обоих режимах является импульсным.

Если весь переходный процесс длится менее 1 с, то максимальные выбросы сигналов составляют сотые доли секунды.

При увеличении времени усреднения уровень шума регулярно уменьшается во всех 1/3-октавных полосах частот. Это свидетельствует о том, что длительность шумового сигнала как при пуске, так и при торможении менее 1/32 с.

Величина измеренного шума, таким образом, будет зависеть от времени усреднения прибора. Так, время усреднения шумомера при измерениях по шкале In составляет 35 мс, по шкале SA - 500 мс при записи на самописец – порядка 0,1 с.

Работы по снижению магнитного шума двигателей привода лифтов в переходных режимах следует проводить в следующих направлениях:

- отработка методик измерения и нормирования шумов в переходных режимах;
- подбор оптимального соотношения чисел пазов статора и ротора [5-7];
- применение увеличенных воздушных зазоров.

Выводы

1. При пуске и торможении двигателя привода лифтов, в отличие от асинхронных двигателей общего назначения, имеют более широкий и насыщенный спектр электромагнитных сил и сил, вызывающих вибрацию, которые возникают вследствие переходных электромагнитных и электромеханических воздействий.
2. Знакопеременные динамические моменты вызывают поворотные вибрации статора и ротора. При этом возбуждается шум повышенного уровня в диапазоне частот от нуля до тысяч герц (при частоте питания сети 50 Гц).
3. Длительность временного интервала повышенной активности вибрации и шума при пуске и торможении соизмерима с длительностью электромагнитных и электромеханических переходных процессов, формируемых в машине.
4. Комплекс экспериментальных исследований позволил определить зависимость шумовых характеристик двухскоростных двигателей от режима работы, числа пазов ротора и т.п.

NOISE CHARACTERISTICS OF LIFT ENGINES IN TRANSFER MODES

V.I. Aphonin, N.P. Badalyan, A.M. Avetisyan

The sources of vibronoise activity of the lift drive engines in transfer modes are considered. To measure the noise levels of machines in stationary and transfer modes, a high-accuracy meter of the type 00014 of the firm RTF (Germany) has been used, and to measure the vibrations – a vibration analyzer of the type 2511 of the firm Bruel and Kjaer (Denmark). Experimental data are introduced. It is shown that at launching and braking, the lift drive motors, unlike the general purpose induction motors have a wider and more saturated spectrum of electromagnetic forces, and forces causing a vibration, arising as a consequence of transfer electromagnetic and electromechanic impacts. A complex of experimental investigations whose results have allowed to determine the dependence of noise characteristics of double speed motors on the operation mode, the number of the rotor slots, etc is carried out. The results obtained are used at developments of lift engines.

Keywords: vibronoise activity, lift engine, transfer mode, experimental data.