“Библиотека Машиностроителя”
www.lib-bkm.ru

ISSN 0869-7566

Современная комплексная диагностика технического состояния станков

к. т. н. Ю. И. Савинов

Известны следующие методы технического обслуживания (ТО) станков.

1. ТО и ремонт при аварийной ситуации на станке (применялся в 1930—1940-х гг.). Этот малоэффективный метод обусловливает нестабильную работу производства. Например, если вовремя не заменить изношенный подшипник, то возможен ремонт самого шпинделя, что приводит к значительным затратам.

2. ТО в соответствии с графиком планово-предупредительного ремонта (ППР) [1] (разработан в 1950—1960-е гг.). Техническое обслуживание и ремонт оборудования проводят исходя из отработанного оборудованием времени. Этот метод обеспечивает стабильную работу оборудования, но требует значительных финансовых и людских ресурсов, так как ремонту подлежат станки независимо от их состояния. При этом оборудование, находящееся фактически в неудовлетворительном состоянии, но не подлежащее ремонту согласно графику ППР, продолжает эксплуатироваться, что нарушает технику безопасности. Экономическая эффективность метода — невысокая.

3. ТО оборудования на основе оценки его технического состояния с помощью современных комплексных методов диагностики [2 и 3]. Этот метод используют на ряде отечественных и большинстве зарубежных предприятий с 1990 г. Автомобильные, авиационные и машиностроительные заводы США, Японии, Англии и Франции проводят ТО станков только по их фактическому состоянию. При оценке технического состояния станков выявляют только дефектные узлы и детали, а затем производят целенаправленный ремонт, устраняя выявленные дефекты. Метод обеспечивает стабильную работу производства, позволяет снизить затраты на ТО и ремонт на 40—50 %, обусловливает возможность прогнозирования времени безаварийной работы оборудования и предварительного заказа необходимых комплектующих для проведения ремонта. Метод реализован на ряде предприятий.

В качестве исходных данных используют результаты, полученные следующими методами оцен-

ки состояния станков с ЧПУ без их разборки: методом оценки согласованности работы приводов и вибродиагностическими методами.

Метод оценки согласованности работы приводов позволяет определить 17 важнейших параметров станков; диагностические параметры, определяемые этим методом с помощью приборов оценки точности станков с ЧПУ, приведены в табл. 1.

Таблица 1

№ п/п	Определяемые параметры
1	Люфт привода по оси *X*
2	Люфт привода по оси *Y*
3	Выбросы обратного хода по оси *X*
4	Выбросы обратного хода по оси *Y*
5	Боковой люфт по оси *X*
6	Боковой люфт по оси *Y*
7	Циклическая ошибка по оси *X*
8	Циклическая ошибка по оси *Y*
9	Рассогласование скорости приводов по осям *X* и *Y*
10	Отклонение от перпендикулярности осей *X* и *Y*
11	Отклонение от прямолинейности оси *X*
12	Отклонение от прямолинейности оси *Y*
13	Рассогласование шкал по осям *X* и *Y*
14	Шаг циклической ошибки по оси *X*
15	Шаг циклической ошибки по оси *Y*
16	Рассчитанная скорость подачи
17	Суммарное отклонение от круглости

Диагностические параметры, определяемые с помощью вибродиагностических методов приведены в табл. 2. Также указаны конкретные результаты диагностики станков (табл. 3, 4 и 5), которые позволяют с помощью вибродиагностических методов оценить техническое состояние (без разборки станка) каждого подшипника, шестерни или ременной передачи, шарико-винтовых пар (ШВП) и др. Время для проведения диагностики одного станка 2—3 ч. В табл. 3 приведены результаты вибродиагностических измерений станка мод. ФП-17МН № 1234 (без разборки станка). В табл. 4 — результаты вибродиагностических измерений станка мод. ФП-17МН № 1235 (без разборки станка). В табл. 5 — результаты вибродиагностических измерений станка мод. ФП-17МН № 1236 (без разборки станка).

Из проведенных испытаний (см. табл. 1—5) следует, что для станков одного года выпуска, для которых необходим (согласно графику ППР) капитальный ремонт, т. е. требуется полная разборка станков, реально необходимо выполнить только следующие работы:

Таблица 2

№ п/п	Определяемые параметры
1	Износ наружного кольца подшипника
2	Износ внутреннего кольца подшипника
3	Износ шариков или роликов подшипника
4	Износ сепаратора
5	Перекос наружного кольца подшипника
6	Биение валов, шпинделей
7	Неравномерный радиальный натяг в подшипнике
8	Раковины, трещины на наружном кольце подшипника
9	Раковины, трещины на внутреннем кольце подшипника
10	Раковины, сколы на телах качения подшипника
11	Дефект ведущей шестерни
12	Дефект ведомой шестерни
13	Дефект зацепления ведущей шестерни
14	Дефект зацепления ведомой шестерни
15	Биение винта ШВП
16	Перекос винта ШВП
17	Износ шариков ШВП
18	Раковины, сколы на телах качения ШВП
19	Износ винта ШВП
20	Раковины, трещины винта ШВП
21	Износ гаек ШВП
22	Раковины, трещины гаек ШВП
23	Дисбаланс валов, шпинделей, шкивов

1) станок мод. ФП-17МН № 1234 — заменить шпиндельные подшипники 46120;

2) станок мод. ФП-17МН № 1235 — заменить в продольном приводе винт и подшипники 110, 7506 и 407918;

3) станок мод. ФП-17МН № 1236 — заменить в шпиндельном узле подшипники 3182120 и 46120, в вертикальном ШВП — винт и подшипники 206 и 8206, а также устранить перекос подшипника 207.

Таким образом, вместо полной разборки станков требуется частичная разборка тех узлов, где имеются дефектные детали, и устранение конкретных неисправностей. При этом сокращается время ремонта, так как не требуется разбирать исправные узлы и можно заранее заказать требующиеся для замены комплектующие детали.

Комплексную оценку точности станка с ЧПУ проводят при наиболее нагруженном режиме его работы, т. е. при его интерполяции по окружности. При этом выполняют сначала два прохода против часовой стрелки, а затем два прохода по часовой стрелке. Результаты испытаний представлены графически на рис. 1, *а* и в диагностической таблице Ballbar (табл. 6). Как следует из табл. 6, общее от-

ISSN 0869-7566

Таблица 3

Наименование узла или детали	Дефект	Величина дефекта, %			Решение
		Наименьшая	Средняя	Наибольшая	
Шпиндельный узел					
Подшипник 3182120	Износ наружного кольца		7		Допустимо
Подшипник 46120	Износ наружного кольца			12	Заменить
Подшипник 3182119	Износ наружного кольца	5			Допустимо
Вертикальная ШВП					
Подшипник 206 в опоре ШВП *Z*	Износ наружного кольца подшипника		6		Допустимо
Подшипник 8206 в опоре ШВП *Z*	Износ внутреннего кольца подшипника	5			Допустимо
ШВП *Z*	Неоднородный натяг		7		Допустимо
— " —	Задиры на внутренней поверхности винта		7		Допустимо
Подшипник 207 в опоре ШВП *Z*	Неравномерная обкатка наружного кольца подшипника	3			Допустимо
Продольный привод					
Подшипник 110 в опоре ШВП *Y*	Износ тел качения и сепаратора		8		Допустимо
— " —	Выбоины на телах качения		7		Допустимо
Подшипник 8204 в опоре ШВП *Y*	Неравномерная обкатка наружного кольца подшипника		6		Допустимо
Подшипник 32205 в опоре ШВП *Y*	Неравномерная обкатка наружного кольца подшипника		6		Допустимо
Подшипник 7506 в опоре ШВП *Y*	Неоднородный радиальный натяг		8		Допустимо
Подшипник 8120 в опоре ШВП *Y*	Неоднородный радиальный натяг	5			Допустимо
Подшипник 407918 в опоре ШВП *Y*	Выбоины на наружном кольце		7		Допустимо
Редуктор ШВП *Y*	Бой вала	5			Допустимо
— " —	Дефекты малой шестерни		6		Допустимо
— " —	Дефекты зацепления малой шестерни		9		Допустимо
— " —	Дефекты на другой оси		8		Допустимо
ШВП *Y*	Неоднородный радиальный натяг		7		Допустимо
— " —	Износ резьбовой поверхности винта		6		Допустимо
Поперечный привод					
Подшипник 110 в опоре ШВП *X*	Износ тел качения и сепаратора		8		Допустимо
— " —	Выбоины на телах качения		7		Допустимо
Подшипник 8204 в опоре ШВП *X*	Неравномерная обкатка наружного кольца подшипника		6		Допустимо
Подшипник 32205 в опоре ШВП *X*	Неравномерная обкатка наружного кольца подшипника		6		Допустимо
Подшипник 7506 в опоре ШВП *X*	Неоднородный радиальный натяг		8		Допустимо
Подшипник 8120 в опоре ШВП *X*	Неоднородный радиальный натяг	5			Допустимо
Подшипник 407918 в опоре ШВП *X*	Выбоины на наружном кольце		7		Допустимо
Редуктор ШВП *X*	Бой вала	5			Допустимо
— " —	Дефекты малой шестерни		6		Допустимо
— " —	Дефекты зацепления малой шестерни		9		Допустимо
— " —	Дефекты на другой оси		8		Допустимо
ШВП *X*	Неоднородный радиальный натяг		7		Допустимо
— " —	Износ резьбовой поверхности винта		6		Допустимо

Таблица 4

Наименование детали	Дефект	Величина дефекта, %			Решение
		Наименьшая	Средняя	Наибольшая	
Шпиндельный узел					
Подшипник 3182120	Износ наружного кольца	4			Допустимо
Подшипник 46120	Износ наружного кольца	5			Заменить
Подшипник 3182119	Износ наружного кольца	3			Допустимо
Вертикальное ШВП					
Подшипник 206 в опоре ШВП *Z*	Износ наружного кольца подшипника	5			Допустимо

Окончание табл. 4

Наименование детали	Дефект	Величина дефекта, %			Решение
		Наименьшая	Средняя	Наибольшая	
Подшипник 8206 в опоре ШВП *Z*	Износ внутреннего кольца подшипника	4			Допустимо
ШВП *Z*	Неоднородный натяг	5			Допустимо
— " —	Задиры на внутренней поверхности винта	5			Допустимо
Подшипник 207 в опоре ШВП *Z*	Неравномерная обкатка наружного кольца подшипника	3			Допустимо
Продольный привод					
Подшипник 110 в опоре ШВП *Y*	Износ тел качения и сепаратора			11	Заменить
— " —	Выбоины на телах качения			14	Заменить
Подшипник 8204 в опоре ШВП *Y*	Неравномерная обкатка наружного кольца подшипника		8		Допустимо
Подшипник 32205 в опоре ШВП *Y*	Неравномерная обкатка наружного кольца подшипника		8		Допустимо
Подшипник 7506 в опоре ШВП *Y*	Неоднородный радиальный натяг			12	Устранить
Подшипник 8120 в опоре ШВП *Y*	Неоднородный радиальный натяг		7		Допустимо
Подшипник 407918 в опоре ШВП *Y*	Выбоины на наружном кольце			15	Заменить
Редуктор ШВП *Y*	Бой вала	5			Допустимо
— " —	Дефекты малой шестерни		7		Допустимо
— " —	Дефекты зацепления малой шестерни		8		Допустимо
— " —	Дефекты на другой оси		9		Допустимо
ШВП *Y*	Неоднородный радиальный натяг		8		Допустимо
— " —	Износ резьбовой поверхности винта			12	Заменить
Поперечный привод					
Подшипник 110 в опоре ШВП *X*	Износ тел качения и сепаратора		6		Допустимо
— " —	Выбоины на телах качения	5			Допустимо
Подшипник 8204 в опоре ШВП *X*	Неравномерная обкатка наружного кольца подшипника		7		Допустимо
Подшипник 32205 в опоре ШВП *X*	Неравномерная обкатка наружного кольца подшипника		6		Допустимо
Подшипник 7506 в опоре ШВП *X*	Неоднородный радиальный натяг		8		Допустимо
Подшипник 8120 в опоре ШВП *X*	Неоднородный радиальный натяг		6		Допустимо
Подшипник 407918 в опоре ШВП *X*	Выбоины на наружном кольце		7		Допустимо
Редуктор ШВП *X*	Бой вала	5			Допустимо
— " —	Дефекты малой шестерни		8		Допустимо
— " —	Дефекты зацепления малой шестерни		7		Допустимо
— " —	Дефекты на другой оси	7			Допустимо
ШВП *X*	Неоднородный радиальный натяг		8		Допустимо
— " —	Износ резьбовой поверхности винта	5			Допустимо

Таблица 5

Наименование детали	Дефект	Величина дефекта, %			Решение
		Наименьшая	Средняя	Наибольшая	
Шпиндельный узел					
Подшипник 3182120	Износ наружного кольца			12	Допустимо
Подшипник 46120	Износ наружного кольца			16	Заменить
Подшипник 3182119	Износ наружного кольца		6		Допустимо
Вертикальная ШВП					
Подшипник 206 в опоре ШВП *Z*	Износ наружного кольца подшипника			14	Заменить
Подшипник 8206 в опоре ШВП *Z*	Износ внутреннего кольца подшипника			12	Заменить
ШВП *Z*	Неоднородный натяг		9		Допустимо
— " —	Задиры на внутренней поверхности винта			18	Заменить
Подшипник 207 в опоре ШВП *Z*	Неравномерная обкатка наружного кольца подшипника			11	Заменить
Продольный привод					
Подшипник 110 в опоре ШВП *Y*	Износ тел качения и сепаратора		9		Допустимо

ISSN 0869-7566

Окончание табл. 5

Наименование детали	Дефект	Величина дефекта, %			Решение
		Наименьшая	Средняя	Наибольшая	
— " —	Выбоины на телах качения		8		Допустимо
Подшипник 8204 в опоре ШВП *Y*	Неравномерная обкатка наружного кольца подшипника		7		Допустимо
Подшипник 32205 в опоре ШВП *Y*	Неравномерная обкатка наружного кольца подшипника		7		Допустимо
Подшипник 7506 в опоре ШВП *Y*	Неоднородный радиальный натяг		8		Допустимо
Подшипник 8120 в опоре ШВП *Y*	Неоднородный радиальный натяг		6		Допустимо
Подшипник 407918 в опоре ШВП *Y*	Выбоины на наружном кольце		7		Допустимо
Редуктор ШВП *Y*	Бой вала	5			Допустимо
— " —	Дефекты малой шестерни		6		Допустимо
— " —	Дефекты зацепления малой шестерни		9		Допустимо
— " —	Дефекты на другой оси		7		Допустимо
ШВП *Y*	Неоднородный радиальный натяг		6		Допустимо
— " —	Износ резьбовой поверхности винта		7		Допустимо
Поперечный привод					
Подшипник 110 в опоре ШВП *X*	Износ тел качения и сепаратора		6		Допустимо
— " —	Выбоины на телах качения		8		Допустимо
Подшипник 8204 в опоре ШВП *X*	Неравномерная обкатка наружного кольца подшипника		8		Допустимо
Подшипник 32205 в опоре ШВП *X*	Неравномерная обкатка наружного кольца подшипника		8		Допустимо
Подшипник 7506 в опоре ШВП *X*	Неоднородный радиальный натяг		6		Допустимо
Подшипник 8120 в опоре ШВП *X*	Неоднородный радиальный натяг		7		Допустимо
Подшипник 407918 в опоре ШВП *X*	Выбоины на наружном кольце		7		Допустимо
Редуктор ШВП *X*	Бой вала		6		Допустимо
— " —	Дефекты малой шестерни		6		Допустимо
— " —	Дефекты зацепления малой шестерни	5			Допустимо
— " —	Дефекты на другой оси		7		Допустимо
ШВП *X*	Неоднородный радиальный натяг		6		Допустимо
— " —	Износ резьбовой поверхности винта	5			Допустимо

Таблица 6

Названия ошибок	Значения		Вклад в отклонение от круглости		Рейтинг значимости ошибки
			мкм	%	
Люфт по оси *X*	▶ −3,2 мкм	◀ 5,1 мкм	5,1	1	8
Люфт по оси *Y*	▲ −3,6 мкм	▼ −8 мкм	8	2	5
Выбросы обратного хода по оси *X*	▶ 16,1 мкм	◀ 16,8 мкм	16,8	5	2
Выбросы обратного хода по оси *Y*	▲ 13,7 мкм	▼ 13,7 мкм	13,7	4	3
Боковой люфт по оси *X*	▶ 8,9 мкм	◀ −1,9 мкм	5,4	2	7
Боковой люфт по оси *Y*	▲ 7,2 мкм	▼ 8,6 мкм	7,9	2	6
Циклическая ошибка по оси *X*	↑ 3,1 мкм	↓ 2,9 мкм	3,1	1	10
Циклическая ошибка по оси *Y*	↑ 4,8 мкм	↓ 2,6 мкм	4,8	1	9
Рассогласование приводов	30,85 мс		266	74	1
Отклонение от перпендикулярности	−6,6 мкм/м		1	0	11
Отклонение от прямолинейности по оси *X*	0,4 мкм		0,2	0	13
Отклонение от прямолинейности по оси *Y*	−0,6 мкм		0,3	0	12
Рассогласование винт	−16 мкм		8	2	4
Шаг циклической ошибки по оси *X*	10,08 мм				
Шаг циклической ошибки по оси *Y*	10,08 мм				
Рассчитанная скорость подачи	517,2 мм/мин				
Смещение центра по оси *X*	−229,9 мкм				
Смещение центра по оси *Y*	116,5 мкм				
Отклонение от круглости	273,2 мкм				

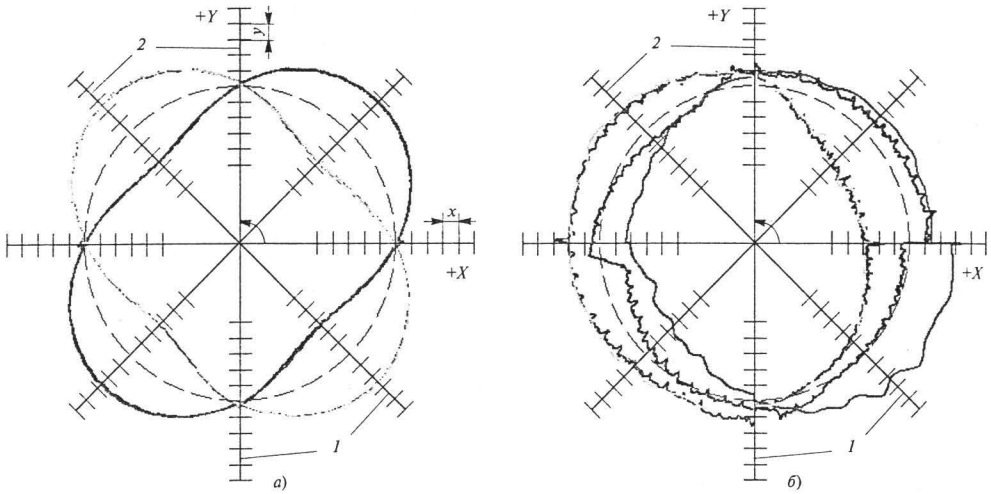

Рис. 1. Результаты комплексной оценки точности станка мод. ИР 500 № 5431 (без разборки станка) до регулировки (*а*): *1* и *2* — деления размером 50 мкм; после регулировки (*б*): *1* и *2* — деления размером 20 мкм

клонение от круглости станка составляет 273 мкм, причем рассогласование приводов по осям *X* и *Y* составляет 74 % отклонения. Зная важнейшие составляющие, определяющие отклонение от круглости станка, значительно проще выполнить его ремонт. Так, отрегулировав только рассогласование приводов по осям, т. е. обеспечив одинаковую скорость по осям *X* и *Y*, получим повышение точности на 45 %.

На рис. 1, *б* графически показаны результаты комплексной оценки точности станка мод. ИР 500 № 5431 (без разборки станка) после регулировки, а

Таблица 7

Названия ошибок	Значения		Вклад в отклонение от круглости		Рейтинг значимости ошибки
			мкм	%	
Люфт по оси *X*	▶ −21,5 мкм	◀ −10,4 мкм	21,5	9	3
Люфт по оси *Y*	▲ −4,3 мкм	▼ 13,2 мкм	13,2	6	8
Выбросы обратного хода по оси *X*	▶ 13,1 мкм	◀ 13,5 мкм	13,5	6	7
Выбросы обратного хода по оси *Y*	▲ 16,5 мкм	▼ 8,4 мкм	16,5	7	5
Боковой люфт по оси *X*	▶ −57,4 мкм	◀ 66 мкм	33,9	15	1
Боковой люфт по оси *Y*	▲ 16 мкм	▼ 1,8 мкм	10,8	5	10
Циклическая ошибка по оси *X*	↑ 13,7 мкм	↓ 3,8 мкм	13,7	6	6
Циклическая ошибка по оси *Y*	↑ 6,8 мкм	↓ 8,7 мкм	8,7	4	11
Рассогласование приводов	1,97 мс		16,8	7	4
Отклонение от перпендикулярности	152,3 мкм/м		22,8	10	2
Отклонение от прямолинейности по оси *X*	−9,5 мкм		4,7	2	12
Отклонение от прямолинейности по оси *Y*	7,7 мкм		3,9	2	13
Рассогласование шкал	−24,4 мкм		12,2	5	9
Шаг циклической ошибки по оси *X*	25,4 мм				
Шаг циклической ошибки по оси *Y*	25,4 мм				
Рассчитаная скорость подачи	509,9 мм/мин				
Смещение центра по оси *X*	29,3 мкм				
Смещение центра по оси *Y*	−441,4 мкм				
Отклонение от круглости	149,3 мкм				

в табл. 7 (диагностической таблице Ballbar) приведены результаты комплексной оценки точности станка мод. ИР 500 № 5431 (без разборки станка) после регулировки.

Как видно из табл. 7, отклонение от круглости после регулировки составило 149,3 мкм по сравнению с 273,2 мкм до регулировки (см. табл. 6). Аналогичным образом упрощается регулировка станка (если потребуется) и по другим параметрам.

Суммарная оценка точности станков по вышеприведенной методике позволяет провести также сравнительную оценку новых станков различных фирм, что позволяет получить объективную оценку их качества.

Список литературы

1. **Металлорежущие** станки и деревообрабатывающее оборудование. / Б. И. Черпаков, О. И. Аверьянов, Г. А. Адоян и др. — Машиностроение: Энциклопедия. — М.: Машиностроение. 1999. — Т. IV-7. — 863 с.

2. **Кудинов В. А.** Динамика станков. — М.: Машиностроение, 1967. — 360 с.

3. **Барков А. В., Баркова Н. А., Азовцев А. Ю.** Мониторинг и диагностика роторных машин по вибрации. — СПб.: ИЦ СПбГМТУ, 2000. — 159 с.