

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Врубель, Ю. А.** Организация дорожного движения / Ю. А. Врубель. – Минск : Фонд Безопасности МВД Республики Беларусь, 1996. – 326 с.
2. Эксплуатация автомобильных дорог и организация дорожного движения : учеб. пособие для вузов / И. И. Леонович [и др.] ; под общ. ред. И. И. Леоновича. – Минск : Выш. шк., 1988. – 348 с.
3. **Taber, J. T.** Multi-objective optimization of intersection and roadway access design / J. T. Taber // Principal Investigator. Utah Transportation Center. – Utah : State University, 1998. – P. 8-12.
4. Comparison of conceptual graphs for modeling knowledge of multiple experts : rapport de recherché / Institut national de recherche en informatique et en automatique; R. Dieng. – 1997. – 88 p. – № 3161.
5. **Elvik, R.** Area-wide urban traffic calming schemes: a meta-analysis of safety effects / R. Elvik. // Accident Analysis & Prevention. – Vol. 33. – P. 327-336.

Белорусский национальный технический университет
Материал поступил 12.03.2006

G. M. Kuharenok, D. V. Kapsky
Increase of safety of road traffic on the basis of the estimation of breakdown susceptibility on disputed objects
Belarusian National Technical University

Aspects of increase of safety of road traffic are considered on the basis of forecasting and an estimation of breakdown susceptibility on a method of potential danger on disputed objects (crossroads and pedestrian crossings).

УДК 625.8

А. Н. Максименко, канд. техн. наук, доц., Д. Ю. Макацария, Б. М. Моргалик, В. В. Кутузов

ДИАГНОСТИРОВАНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ И ДОРОЖНЫХ МАШИН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

В статье рассмотрены вопросы диагностирования сборочных единиц систем и машины в целом с учетом процесса их старения.

Эффективность использования строительных и дорожных машин (СДМ) в значительной степени зависит от исключения отказов их на строительных площадках и сокращения продолжительности простоев в технических обслуживаниях (ТО) и ремонтах.

При планировании технической эксплуатации важно не только определить количество ТО и ремонтов с учетом процесса старения и диагностирования машины, но и точно запланировать постановку их для выполнения профилактических или восстановительных работ. При этом роль диагностирования при ор-

ганизации поддержания и восстановления работоспособности СДМ меняется в зависимости от состояния нормативной и технической базы, а также использования информационных технологий и наличия технических средств определения контролируемых параметров.

Системный подход к управлению технической эксплуатацией парка машин предусматривает четыре подсистемы (рис. 1).

Первая подсистема имеет место при отсутствии нормативной и технической базы по диагностированию, ко-

гда реализуются рекомендации заводо-изготовителей по проведению технических обслуживаний и ремонтов в соот-

ветствии с нормированными их режимами (периодичности и трудоемкости).

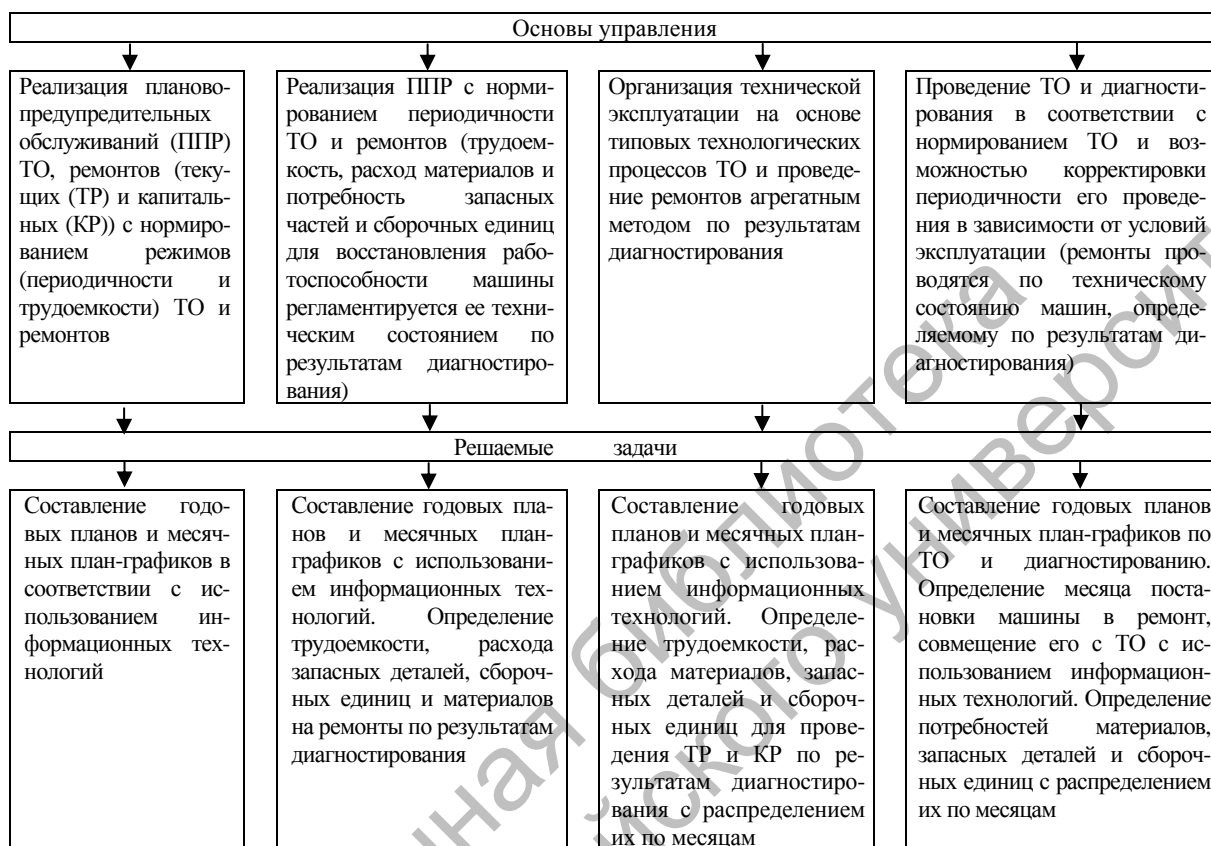


Рис. 1. Структурная схема управления работоспособностью СДМ

Вторая подсистема предусматривает наличие нормативной и материальной базы диагностирования и проведения обслуживаний и ремонтов с периодичностью, установленной заводом-изготовителем, а расход материалов, запасных частей, сборочных единиц и необходимая трудоемкость для восстановления работоспособности машины регламентируется ее техническим состоянием по результатам диагностики.

Третья подсистема предусматривает организацию технической эксплуатации на основе типовых технологических процессов технических обслуживаний и проведение ремонтов агрегатным методом по результатам диагностирования.

Четвертая подсистема основывается на проведении технических обслуживаний с периодичностью, установленной заводом-изготовителем и корректируемой с учетом условий эксплуатации строительных и дорожных машин, а ремонты проводятся по техническому состоянию машины, определяемому диагностированием, совмещенным с обслуживанием. При этом определяется месяц постановки машины в ремонт, потребность материалов, запасных деталей и сборочных единиц, обеспечивающих восстановление их работоспособности.

Реализация любой из подсистем при составлении годового плана об-

служиваний и ремонтов возможна по алгоритму определения годовой планируемой наработки, которая определяется с учетом всех видов мероприятий по поддержанию и восстановлению работоспособности строительных и дорожных машин, а также наличия нормативной базы и технических средств диагностирования.

Предложенный авторами алгоритм (рис. 2) и разработанная программа определяют планируемую наработку, количество часов нахождения машины в работе $T_{\text{чп}}$ продолжительность простоев в обслуживании и ремонтах $D_{\text{рм}}$ и суммарную трудоемкость для проведения ТО и ремонтов $T_{\text{тор}}$ по каждой машине парка за установленный промежуток времени с учетом влияния наработки с начала эксплуатации.

Для реализации предложенного алгоритма создаются база постоянных данных и база данных, изменяющихся в процессе наработки машины. В базу постоянных данных по каждой марке машин заносится: количество дней простоев $D_{\text{п}}$, которое определяется суммированием выходных и праздничных дней; дней простоев по метеорологическим условиям; дней, затраченных на перебазирование машины в течение года; дней простоев по организационным причинам (в год проведения капитального ремонта добавляются дни простоя машины в нем по нормативным данным); нормативные данные по режимам ТО и ремонтов, включающие периодичность, трудоемкость проведения каждого мероприятия и дни простоев машины при выполнении работ по поддержанию и восстановлению ее работоспособности; номинальные и предельные значения контролируемых параметров и соответствующие им параметры диагностирования по каждой сборочной единице и машины в целом. База постоянных данных разделена на два раздела: всесезонные машины с возможностью корректировки наработки по месяцам и сезонные машины, используемые по назначению

только в летний или зимний период.

В базу переменных данных заносится информация, изменяющаяся от наработки с начала эксплуатации. К ней относятся: фактическая наработка за предшествующий год работы машины $N_{\text{фi}}$, которая определяется по счетчику мото-часов или по спидометру; суммарная трудоемкость $T_{\text{торi}}$, необходимая для проведения ТО и ремонтов в рассматриваемом году; необходимое количество дней простоев в ТО и ремонтах в рассматриваемом году $D_{\text{рmi}}$; значение коэффициента перехода от $T_{\text{чи}}$ к $N_{\text{фi}}$ ($K_{\text{пi}}$) и комплексный показатель надежности (коэффициент технического обслуживания $K_{\text{ти}}$) за рассматриваемый год. Причем перечисленные расчетные данные в базе сохраняются за каждый год эксплуатации машины, что позволит сделать анализ их изменения в зависимости от наработки с начала эксплуатации и более точно спрогнозировать работоспособность машины в планируемом году.

В основу всех расчетов закладываются значения фактической наработки с начала эксплуатации $N_{\text{фi}}$ и результаты предварительных исследований по влиянию наработки каждого типа машин на комплексный показатель надежности $K_{\text{ти}}$. Для многих машин установлены зависимости $K_{\text{ти}}$ от наработки, которые имеют вид:

$$K_{\text{ти}} = A - B \cdot N_{\text{ф}}$$

Коэффициенты A и B определены на основе статистической обработки простоев в ТО и ремонтах за межремонтный цикл. Причем для рассмотренных типов машин коэффициент A изменяется в пределах 0,90...0,96, а $B - (20...32) \cdot 10^{-6}$ соответственно. С достаточной точностью (для рассматриваемых типов машин погрешность не превышала 5 %) $K_{\text{ти}}$ можно определить по формуле

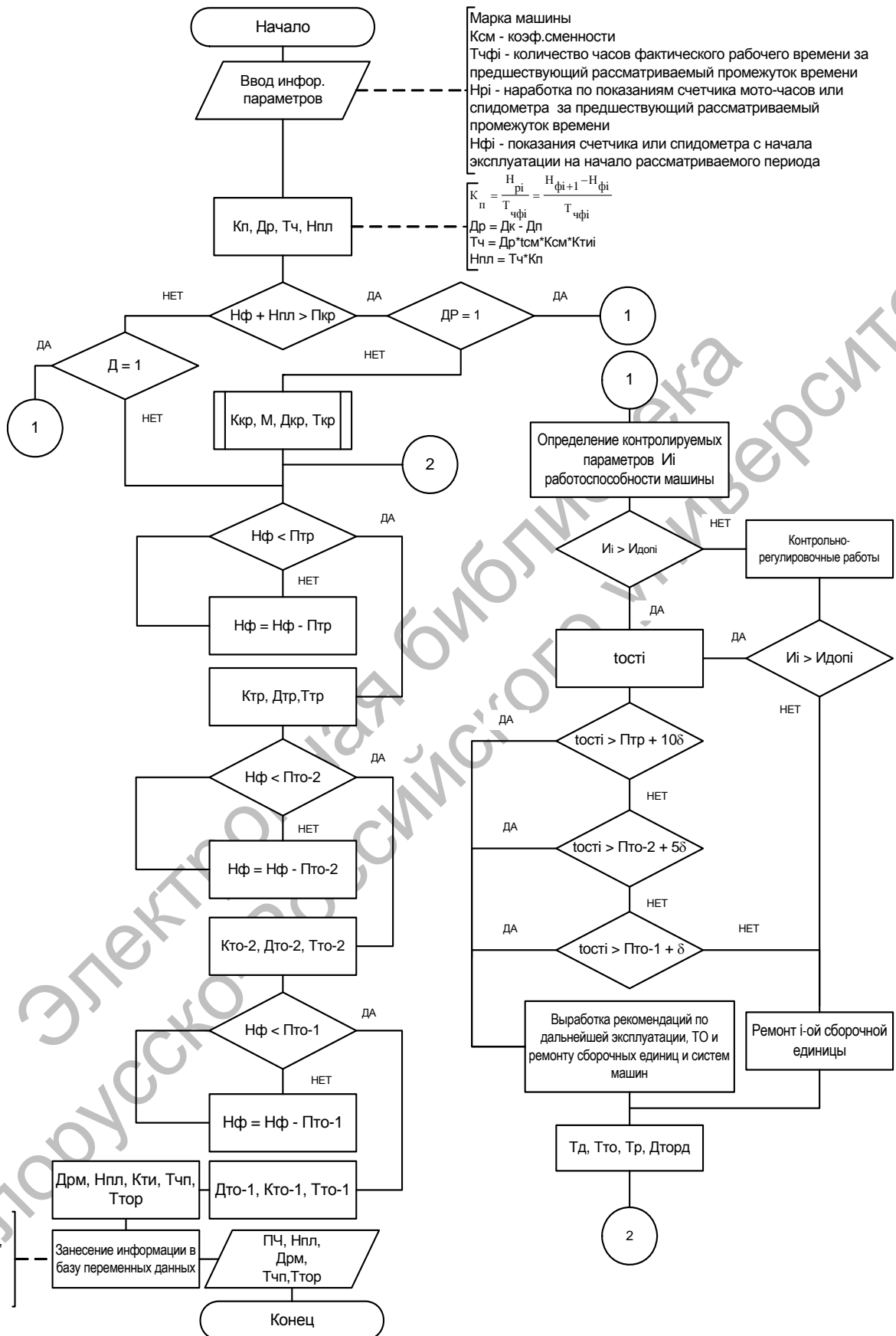


Рис. 2. Алгоритм определения плановой наработки СДМ: $K_{ти}$ и $N_{ри}$ вводится первоначально при отсутствии этих значений в базе данных

$$K_{\text{ти}} = 0,93 - C \cdot \frac{N_{\text{ф}}}{\bar{t}},$$

где \bar{t} – средний ресурс машины, устанавливаемый заводом-изготовителем; C – коэффициент, определенный с учетом предельного состояния машины при $N_{\text{ф}} = \bar{t}$ и $K_{\text{ти}} = 0,7$ (при значениях $K_{\text{ти}} < 0,7$ эксплуатация машины нецелесообразна из-за снижения эффективности использования ее по назначению и значительного роста затрат на поддержание и восстановление ее работоспособности).

На первом этапе алгоритмом предусмотрено определение планируемой наработки с учетом значений $K_{\text{п}}$ за предыдущий период. При условии превышения суммы $N_{\text{ф}}$ и $N_{\text{пл}}$ периодичности проведения капитального ремонта $P_{\text{кр}}$ выполняется диагностирование машины при ближайшем плановом ТО-1, которое оценивает техническое состояние машины в целом и целесообразность проведения капитального ремонта в планируемом году при вводе диагностируемого параметра $ДР = 1$, или планируется проведение капитального ремонта в соответствии с рекомендациями нормативно-технической документации, в том числе инструкции по эксплуатации машины, разработанной заводом-изготовителем.

При диагностировании по каждой сборочной единице определяется остаточный ресурс $t_{\text{ост}}$ и выработываются рекомендации по времени и объему выполнения операций ТО и ремонта, а также планируется потребность обменного фонда для обеспечения агрегатного метода ремонта.

Диагностирование машины можно также запланировать при любой наработке при вводе диагностического параметра $Д = 1$. В этом случае трудоемкость выполняемых работ определяется с учетом обязательных операций ТО и ремонта по потребности в зависимости от технического состояния и перспектив безотказной работы машины на объекте. Основой прогнозирования ее работоспособности

являются: значения $t_{\text{ост}}$ по всем сборочным единицам и системам, а также база данных (пополняемая после каждого воздействия) по техническому состоянию; динамика изменения контролируемых параметров в зависимости от наработки; точность планируемой наработки (погрешность расчетов по предлагаемой методике не превышает 10 %, т.е. для исключения отказов машины на объекте $t_{\text{ост}}$ должен превышать периодичность ТО-1, которая равна 100 мото-часам работы плюс ожидаемая ошибка δ , равная 10 мото-часам) и качество выполняемых работ по ТО и ремонту.

При плановом проведении ТО и ремонтов в объеме, предусмотренном нормативной документацией, простои и трудоемкость их выполнения рассчитывают без учета их диагностирования, при этом параметр $Д = 1$ не вводится. В этом случае трудоемкость и дни простоя в ТО и ремонтах с учетом диагностирования определяются только при $N_{\text{ф}} + N_{\text{пл}} > P_{\text{кр}}$, когда вводится дополнительный параметр $ДР = 1$.

Реализация предлагаемой методики постановки машины в ТО и ремонты по сборочным единицам, достигнувшим предельного состояния, возможна при наличии средств диагностирования, оценивающих работоспособность отдельных сборочных единиц и систем.

Работоспособность землеройно-транспортных и транспортных машин наиболее часто (70...80 %) нарушается из-за отказа двигателя и сборочных единиц трансмиссии. Наиболее широко для оценки работоспособности двигателя используется изменение эффективной мощности, а для трансмиссии – углового зазора.

Эту оценку можно проводить на переходных режимах с использованием информационных технологий с учетом разрабатываемого прибора, определяющего мощность двигателя по угловому ускорению и механиче-

скую трансмиссию по суммарному угловому зазору.

Оценка работоспособности исследуемого объекта на переходных режимах проведена на трансмиссии МТЗ-1221 в

режиме «разгон-торможение» в процессе раскрытия и закрытия бокового зазора в зубчатом зацеплении (рис. 3).

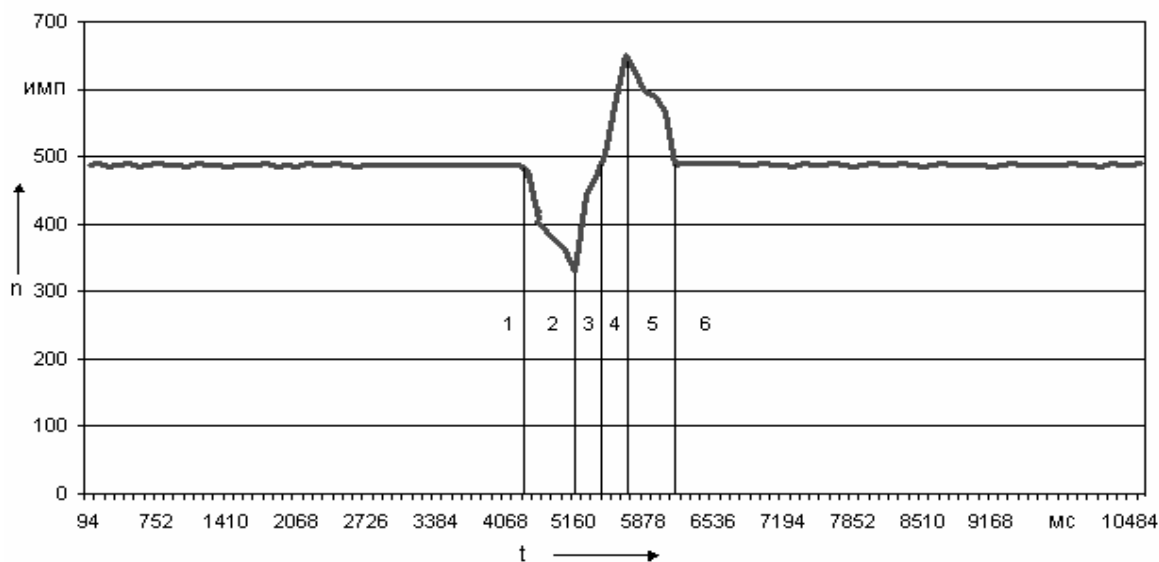


Рис. 3. Процесс режима «разгон-торможение» в цепи трансмиссии МТЗ-1221 (девятая передача): n – количество опорных импульсов на один выходной импульс; t – время

На рис. 3 отражено изменение количества опорных импульсов (на венце маховика коленчатого вала) в одном выходном валу трансмиссии. Здесь можно выделить шесть этапов.

На первом и шестом этапах наблюдается установившийся режим работы системы при постоянном отношении скоростей входного звена ω_1 (маховика) и выходного звена ω_2 (выходной шестерни), т.е. $\omega_1/\omega_2 = \text{const}$.

На втором этапе реализуется тестовое воздействие на систему путем резкого снижения частоты вращения входного звена. За счет действующих сил инерции системы ускорение замедления первичного вала выше по сравнению с выходным.

На третьем этапе происходит раскрытие сопряжения зубчатого зацепления и происходит выбор зазора, когда выходная шестерня является ведущей, т.е. ведущая шестерня опережает ведомую шес-

терню за счет выбора зазора.

На четвертом этапе происходит процесс выбора зазора в обратном направлении при увеличении частоты вращения маховика и его ведущей роли.

На пятом этапе происходит закручивание цепи трансмиссии при ведущей роли маховика до равенства отношений частот:

$$\omega_{15}/\omega_{25} = \omega_1/\omega_2,$$

т.е. происходит переход системы в установившийся режим (шестой этап). В точках изменения знаков ускорений 2-3 и 4-5, в соответствии с рис. 3, значение $f'(t) = 0$, что позволяет четко зафиксировать раскрытие стыка и конец его закрытия по изменению знака ускорения.

Количество импульсов опорного сигнала в каждом последующем импульсе ведомой шестерни выявит наличие импульса, ширина которого бу-

дет существенно отличаться от остальных, поскольку будет характеризовать момент выборки углового зазора в зубчатом зацеплении. Разница между количеством импульсов опорного сигнала в ширине импульса ведомой шестерни до тестового воздействия и после даст искомую величину углового зазора в зацеплении, который характеризует износ боковых поверхностей зубьев.

На точность метода оказывает влияние величина так называемой «плавающей фазы». Предполагаемое количество «опорных» импульсов, снимаемых с маховика, приходящееся на один импульс выходной шестерни, изменяется в том случае, когда фронт выходного импульса запускает счетчик опорных импульсов не по фронту опорного, а в периоде опорного и дробит опорный импульс на две части.

При установке одного датчика на входе количество опорных импульсов на один выходной по k -ой передаче составит определенную величину с отклонением ± 2 от расчетного числа импульсов в стационарном режиме, т.е. при конвертации аналогового сигнала, снимаемого с первичного преобразователя, в цифровой сигнал с помощью аппаратных средств, дробная часть импульса отбрасывается. Таким образом, от одного датчика опорного сигнала потеря составит максимум два импульса.

Заданную точность контролируемого параметра рассматриваемой сложной технической системы можно определить через необходимое количество экспериментов в соответствии с алгоритмом выбора тестового воздействия (рис. 4).

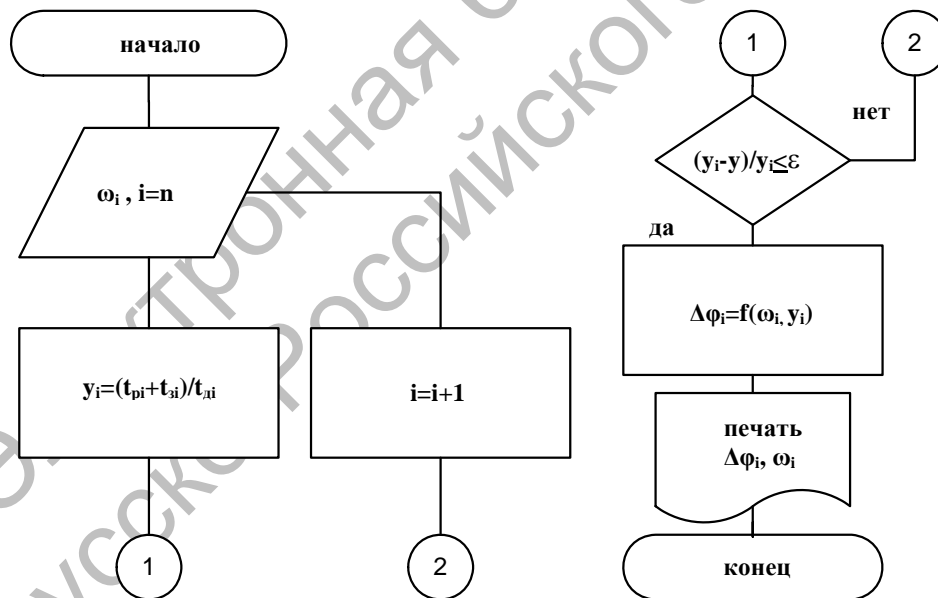


Рис. 4. Алгоритм выбора рациональной частоты тестового воздействия

На рис. 4 приняты следующие обозначения: t_p – время раскрытия стыка; t_z – время закрытия стыка; t_d – время прохождения зуба выходной шестерни возле датчика; y_i – текущее значение целевой функции; y – целочисленное зна-

чение количества импульсов выходной шестерни за период раскрытия и закрытия стыка; ω_i – частота вращения коленчатого вала при i -м опыте; $\Delta\phi_i$ – суммарный угловой зазор трансмис-

сии при i -м эксперименте; ε – допустимая погрешность определения суммарного углового зазора.

Значение суммарного углового зазора $\Delta\varphi$ в тестовом режиме определяется разностью координат поворота входного и выходного звеньев, определяемых через ω_2 и ω_1 по количеству импульсов с учетом передаточного числа на отрезке времени переходного процесса Δt из выражения:

$$\Delta\varphi = \int_{\Delta t} (\omega_2 \cdot U - \omega_1) \cdot dt,$$

где ω_2 – угловая скорость выходного звена; ω_1 – угловая скорость входного звена; U – передаточное число.

С учетом рациональных частот тестового воздействия для МТЗ-1221 с различной наработкой с начала эксплуатации определяется суммарный угловой зазор на всех передачах с помощью диагностического комплекса ДК-1, разработанного в Белорусско-Российском университете. Параллельно суммарный угловой зазор определялся инструментальным методом с помощью прибора КИ-13909. Результа-

ты полученных экспериментальных данных сведены в табл. 1.

Анализ полученных результатов показывает высокую сходимость величин суммарных угловых зазоров с помощью разработанного прибора и фактических с помощью прибора КИ-13909. Средняя ошибка по всем диапазонам передач равна 2,6 %, с максимальным значением по отдельным передачам 4 %. Наблюдается также явная зависимость суммарного углового зазора от наработки с начала эксплуатации подконтрольных машин (рис. 5), что позволит с большой точностью прогнозировать работоспособность трансмиссии диагностируемых машин с учетом интенсивности изнашивания зубчатых зацеплений.

Для решения поставленной задачи по машине в целом необходимо по всем системам и агрегатам провести аналогичные исследования оценки их технического состояния по текущим значениям контролируемых параметров.

Табл. 1. Результаты эксперимента по определению суммарного углового зазора трактора МТЗ-1221

Диапазон передач	Прибор измерения	Наработка, моточас		
		270	1650	3000
1	КИ-13909	2,3	3,4	5
	ДК-1	2,4	3,5	5,15
2	КИ-13909	2,45	3,65	4,95
	ДК-1	2,55	3,65	5,1
3	КИ-13909	2,4	3,7	5,05
	ДК-1	2,6	3,95	4,7
4	КИ-13909	2,45	3,9	4,7
	ДК-1	2,55	3,7	5,05
5	КИ-13909	2,55	3,65	5,2
	ДК-1	2,55	3,65	5,2
6	КИ-13909	3,05	3,8	5,3
	ДК-1	3,05	3,7	5,15

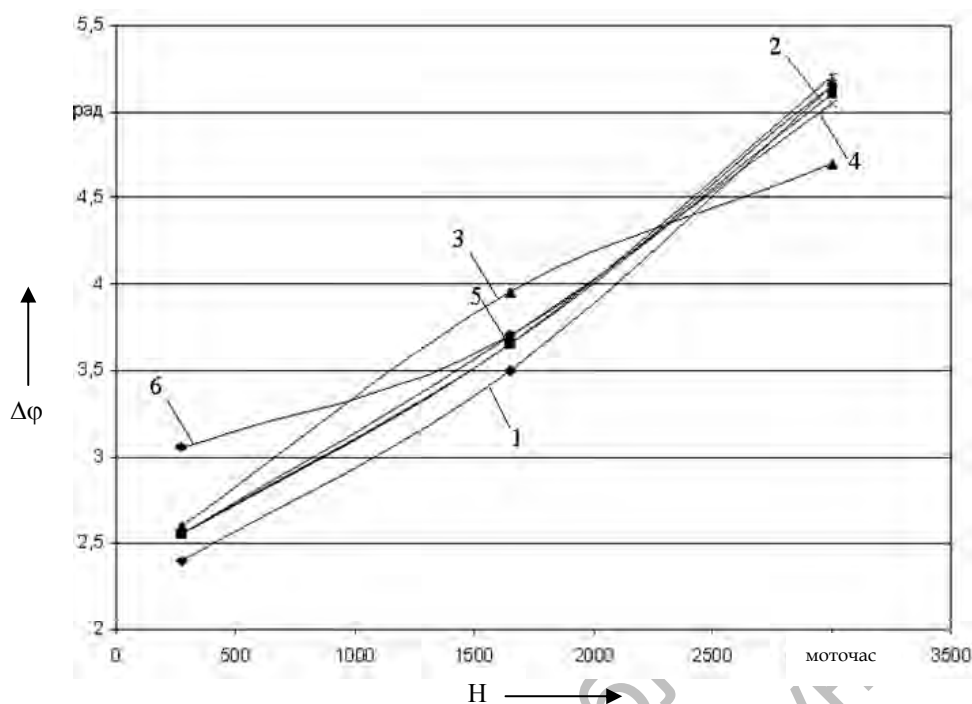


Рис. 5. Зависимость суммарного углового зазора от наработки: $\Delta\varphi$ – суммарный угловой зазор; Н – наработка; 1 – первый диапазон передач; 2 – второй; 3 – третий; 4 – четвертый; 5 – пятый; 6 – шестой

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тарасик, В. П. Математическое моделирование технических систем : учебник для вузов / В. П. Тарасик. – Минск : Дизайн ПРО, 2004. – 640 с.
 2. Максименко, А. Н. Эксплуатация строительных и дорожных машин : учеб. пособие / А. Н. Максименко. – СПб. : БХВ-Петербург,

2006. – 400 с. : ил.

3. Максименко, А. Н. Определение годового режима строительных и дорожных машин с учетом наработки с начала эксплуатации / А. Н. Максименко, Д. Ю. Макацария, В. В. Васильев // Грузовик &. – 2006. – № 4. – С. 52-54.

Белорусско-Российский университет
 Материал поступил 01.06.2006

**A. N. Maksimenko, D. Y. Makazarija,
 B. M. Morgalik, V. V. Kutuzov**
**Diagnostis of building- and road
 machines with the use of information
 technologies**
 Belarusian-Russian University

In this article have been described the problems of diagnostics of the prefabricated system units and the machine as a whole with the consideration of its aging process.