

УДК 621.9(075.8)

**ОБ УПРАВЛЕНИИ ТЕМПЕРАТУРНЫМИ
СМЕЩЕНИЯМИ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО
ОРГАНА МЕТАЛЛОРЕЗУЩЕГО СТАНКА**

К.В. Марусич

Оренбургский государственный университет

E-mail: mkv82@mail.ru

Марусич Константин Викторович, старший преподаватель кафедры технологии машиностроения, металлообрабатывающих станков и комплексов Оренбургского государственного университета.
E-mail: mkv82@mail.ru
Область научных интересов: тепловые процессы в станках.

Предложена схема реализации коррекции температурной погрешности металлорежущего станка на основе метода прогнозирования его тепловых характеристик, позволяющая повысить точность обработки.

Ключевые слова:

Металлорежущий станок, тепловые характеристики,

температурные перемещения.

Тепловые деформации составляют до 70 % в общем балансе погрешностей обработки на металлорежущих станках. Полную погрешность обработки Δ_t , связанную с температурными деформациями, обычно определить не удастся. Приблизительно принимают для операций с жесткими допусками на обработку $\Sigma\Delta_t = (0,1 \dots 0,4)\Delta_\Sigma$, причем для обработки лезвийным инструментом $\Sigma\Delta_t = (0,1 \dots 0,15)\Delta_\Sigma$, при шлифовании $\Sigma\Delta_t$ составляет 30...40 % суммарной погрешности Δ_Σ . Особенно заметно их влияние при выполнении чистовых операций, при которых статистические и динамические деформации упругой системы станка не оказывают существенного влияния на погрешности, возникающие при обработке детали.

Традиционно для станков с числовым программным управлением (ЧПУ) методы компенсации температурной погрешности основываются на прогнозировании температурных перемещений по данным от температурных датчиков, устанавливаемых на станке. Для этого заранее устанавливается функциональная связь «перемещение–температура» $\delta(T)$. Однако проведенные экспериментальные исследования доказали возможность получения больших погрешностей для данной методологии, т. к. функция $\delta(T)$ существенно зависит от циклограммы работы станка и тепловой нагрузки [1, 2].

Анализ представленных на рис. 1 характеристик $\delta(T)$ показывает, что для различных режимов работы станка при одном и том же значении температуры появляются различные температурные перемещения (диапазон изменения перемещений Δ_δ составляет более 50% от минимального значения перемещения (в представленном варианте 25 мкм) при фиксированной температуре). Это означает, что только по показаниям термодатчика, без знания циклограммы работы станка, невозможно реализовать адекватный прогноз температурных перемещений.

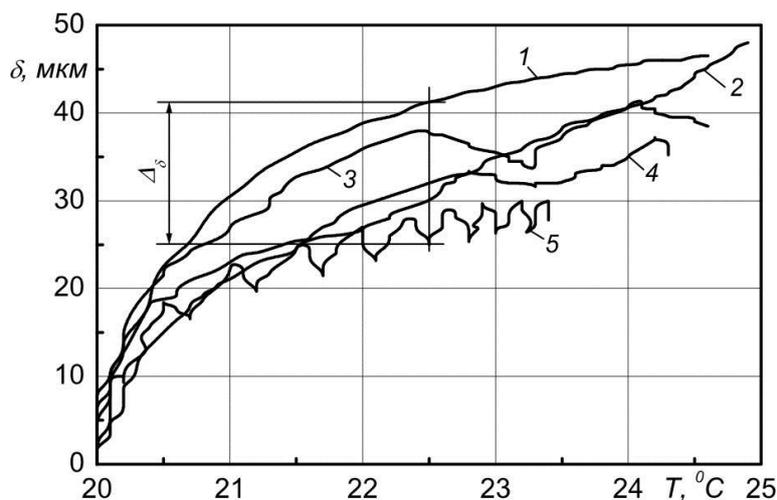


Рис. 1. Экспериментальные характеристики «перемещение–температура» $\delta(T)$ (режимы работы: 1) непрерывный; 2) ступенчатый рост частоты вращения; 3, 4) различные варианты обобщенного типа; 5) повторно-кратковременный)

Структурная схема реализации коррекции температурной погрешности станка на основе метода прогнозирования его тепловых характеристик приведена на рис. 2. Схема включает семь блоков.

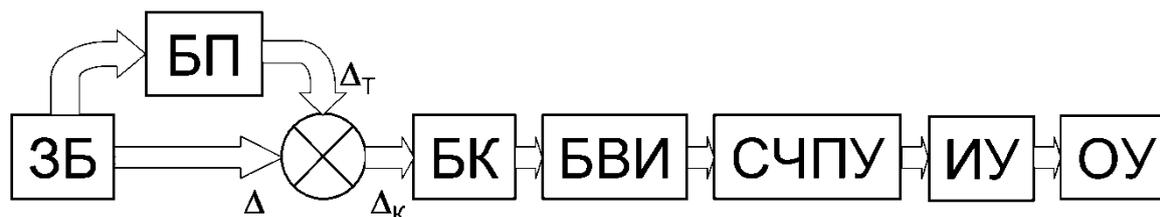


Рис. 2 Структурная схема реализации коррекции температурной погрешности станка на основе метода прогнозирования его тепловых характеристик

Задающий блок – ЗБ определяет циклограмму работы станка и параметры точности детали для каждой поверхности с учетом переходов. Блок прогнозирования – БП включает реализацию разработанного метода прогнозирования тепловых характеристик станка [3]. В блоке компенсации – БК на основе алгоритма компенсации температурной погрешности станка формируется система корректирующих воздействий. Блок внесения изменений – БВИ вносит изменения в текст управляющей программы для системы числового программного управления (СЧПУ). Отработка корректирующих воздействий в СЧПУ проявляется на перемещениях исполнительных устройств – ИУ, например шпиндельной головки. В качестве объекта управления – ОУ в этом схеме выступают температурные смещения исполнительных устройств.

На рис. 3 приведена схема алгоритма компенсации температурной погрешности станка, реализованного в БК. Алгоритм включает восемь основных блоков. В первом блоке исходных данных используются: чертежи заготовки и детали; технологический процесс обработки детали и управляющая программа для станка с ЧПУ. Это позволяет сформировать циклограмму работы станка и перейти ко второму блоку, в котором формируется вектор параметров точности детали для каждой поверхности с учетом технологических переходов, предусматриваемых технологическим процессом обработки детали. Следующий, третий, блок представляет собой циклически повторяющуюся процедуру построения прогнозируемой тепловой характеристики станка для одной координаты. В четвертом блоке формируется вектор точности обработки, обеспечиваемый станком для детали. Из исследований А.С. Проникова, Д.Н. Решетова, В.С. Стародубова и др. установлено, что в общем балансе точности обработки влияние станка составляет до 40 %.

Это позволяет сформировать вектор параметров Δ_k , который выступает в качестве вектора требуемой размерной точности, и он же определяет величину корректирующего воздействия. Количественные значения компонентов вектора Δ_k устанавливаются в относительном соотношении к величине допуска на размер:

$$\Delta_k = \{k\} \{\Delta\}, \text{ где } \{k\} = \{k_0, k_1, k_2, k_3\}.$$

Параметр $\{k\}$ позволяет задать собственное влияние станка в общем балансе точности. Чем меньше значение $\{k\}$, тем жестче требования к точности обработки. В данном алгоритме приняты четыре уровня точности. Переход от одного уровня к другому осуществляется циклически по результатам измерений в цикле D. В разработанном алгоритме шаг итерации задается в цикле A.

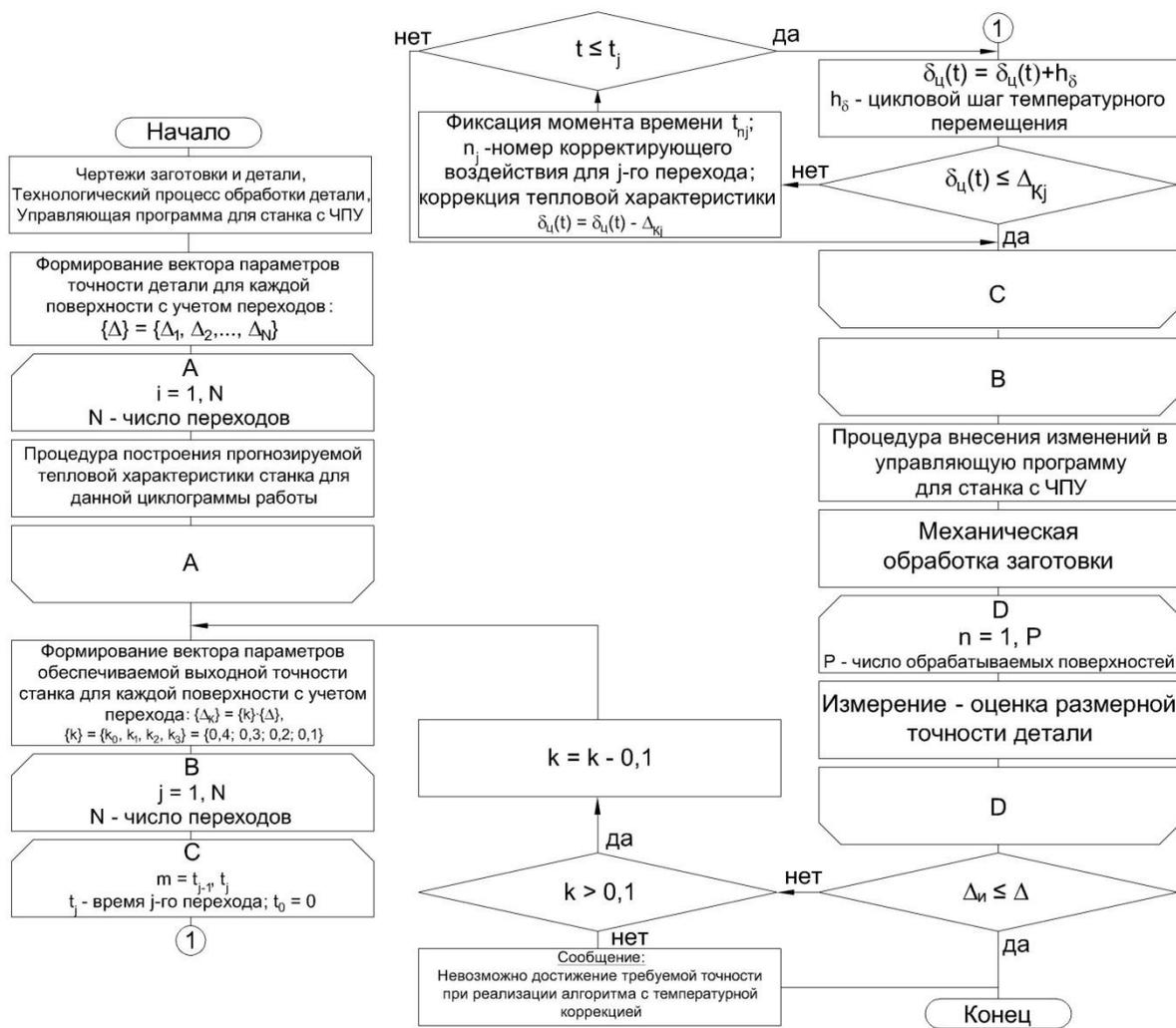


Рис. 3. Схема алгоритма компенсации температурной погрешности станка, работающего в переменных тепловых режимах

В пятом блоке циклически, в зависимости от перехода, осуществляется построение скорректированного температурного перемещения $\delta_u(t)$. На каждом временном шаге осуществляется проверка условия выхода прогнозируемого температурного перемещения за границы Δ_k . При выходе за установленные пределы Δ_k фиксируется момент времени t_{ij} и выполняется коррекция прогнозируемой тепловой характеристики:

$$\delta_u(t) = \delta_u(t) - \Delta_{kj},$$

где Δ_{kj} – величина корректирующего воздействия Δ_k для j -го перехода или участка циклограммы.

Индексация корректирующего воздействия i выполняется автоматически и для каждого j -го перехода различна. Количество корректирующих воздействий на каждом участке циклограммы определяется исходя из величины прогнозируемых перемещений, величины размерной точности Δ_k и длительности участка циклограммы.

В шестом блоке реализуется процедура внесения в управляющую программу для станка с ЧПУ по сформированным векторам времени $\{t_{n,j}\}$ и векторам корректирующих воздействий для каждого перехода $\{\delta_{kj}\}$.

Седьмой блок – это реализация механообработки на станке по скорректированной программе для стойки ЧПУ. В восьмом блоке осуществляется измерение каждого размера детали, по результатам которого вносятся изменения в величину корректирующих воздействий Δ_k .

На рис. 4 приведена схема реализации алгоритма компенсации температурной погрешности станка [4, 5]. Кривая 1 – это спрогнозированная характеристика температурного перемещения (ХТП) для циклограммы, верхней пунктирной линией обозначена величина максимальной температурной погрешности – Δ_T . Так как приведенный рисунок – это теоретическая диаграмма, то величина требуемой точности Δ совпадает с величиной образуемой температурной погрешности при использовании корректирующих воздействий – Δ_k (т. е. $\Delta = \Delta_k$, поэтому величина Δ не приведена).

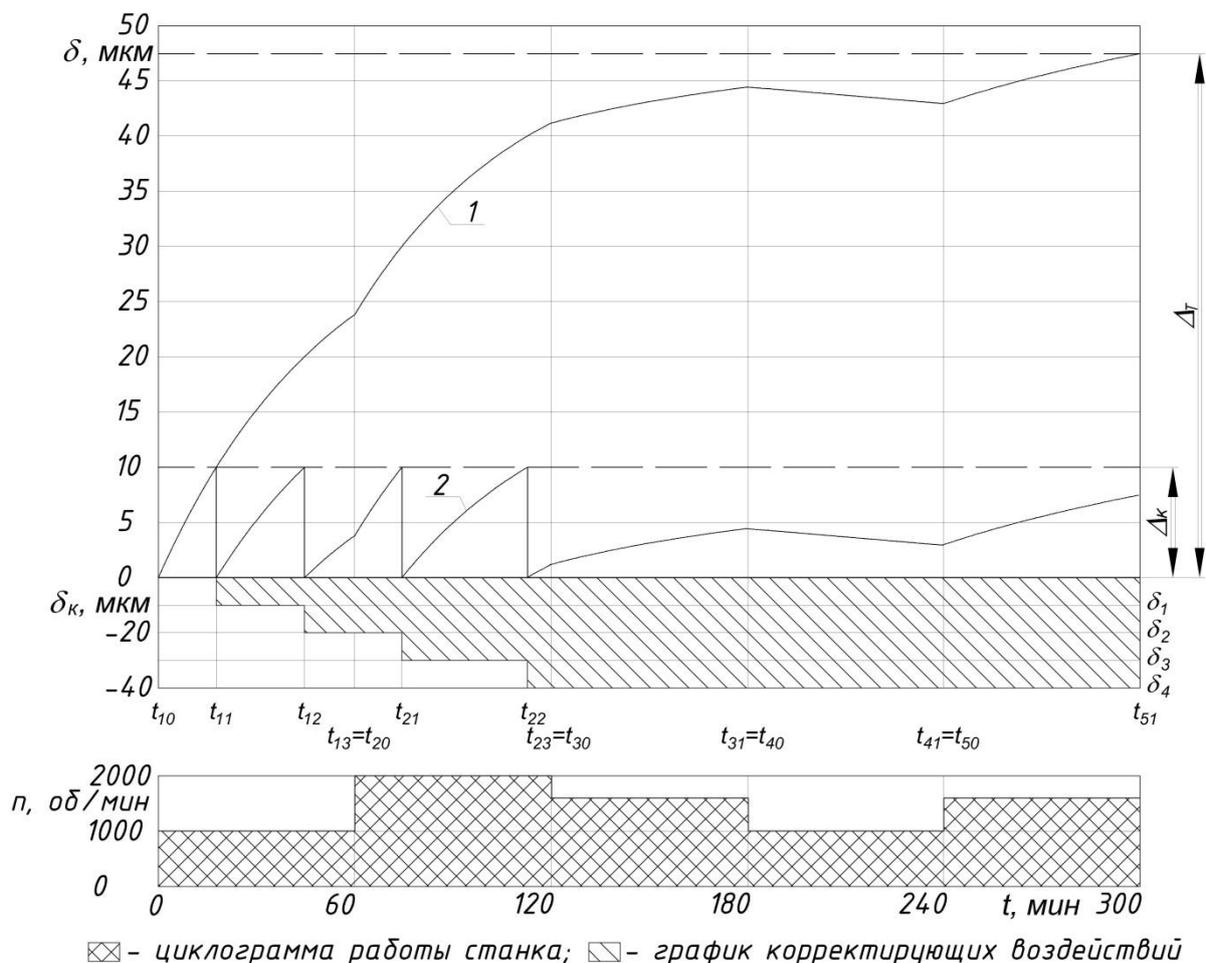


Рис. 4. Схема реализации алгоритма компенсации температурной погрешности станка (ХТП: 1) без коррекции температурной погрешности; 2) с коррекцией температурной погрешности)

Выходными параметрами алгоритма служит система корректирующих воздействий, формируемая для каждого технологического перехода, вида:

$$R = \begin{cases} n_1; \{t_1\}; \{\delta_1\} \\ \dots \\ n_m; \{t_m\}; \{\delta_m\} \end{cases},$$

где m – число технологических переходов; n_1, n_m и $\{t_1\} = (t_{11}, \dots, t_{1n_1})$, $\{t_m\} = (t_{m1}, \dots, t_{mn_m})$ – количество корректирующих воздействий на 1-ом и m -ом технологических переходах и им соответствующие последовательности интервалов времени; $\{\delta_1\} = (\delta_{11}, \dots, \delta_{1p_1})$, $\{\delta_m\} = (\delta_{m1}, \dots, \delta_{mp_m})$ – соответствующие последовательности корректирующих воздействий на 1-ом и m -ом технологических переходах.

В общем случае величина Δ для каждого участка циклограммы различная, т. к. она определяется параметрами точности различных размеров по чертежу детали. В рассматриваемом варианте алгоритма показатели точности Δ для каждого перехода приняты одинаковыми, равными 10 мкм. Количество корректирующих воздействий на каждом участке циклограммы определяется исходя из следующих факторов: величины прогнозируемых перемещений; величины показателя точности Δ ; длительности участка. В качестве примера рассмотрим процедуру формирования результирующих воздействий на первом участке:

- согласно прогнозу тепловых характеристик формируется температурное перемещение на первом участке циклограммы; превышение установленной величины показателя точности Δ наступает в момент времени t_{11} ; тем самым определяется первый интервал времени $[t_{10}, t_{11}]$, по истечению которого вводится первое корректирующее воздействие;
- задавая корректирующее воздействие δ_1 , равное показателю точности Δ , получают измененную характеристику 2, представляющую собой параллельный перенос характеристики 1 вдоль ординаты;
- в новый момент времени t_{12} опять наступает превышение установленной величины показателя точности Δ – так определяется второй интервал времени $[t_{11}, t_{12}]$, на котором задается второе корректирующее воздействие; момент времени t_{12} , также как и момент времени t_{11} определяется из задачи пересечения кривой 2 и прямой Δ_k ; для обеспечения требуемой точности обработки опять задается корректирующее воздействие δ_2 , равное Δ_k ;
- после выполнения корректирующего воздействия δ_2 характеристика опять смещается параллельно ординате на величину δ_2 ; в отличие от двух предыдущих случаев, момент времени t_{13} равен моменту времени t_{20} , т. к. текущая температурная погрешность по кривой 2 не превысила величину Δ .

Таким образом, для первого участка циклограммы была сформирована совокупность следующих параметров:

- число корректирующих воздействий, равное числу интервалов, на которые был разделен первый участок циклограммы – «3»;
- интервалы времени $[t_{10}, t_{11}]$, $[t_{11}, t_{12}]$ и $[t_{12}, t_{13}]$, в частности, для данного варианта, в мин – {18, 27, 15};
- совокупность корректирующих воздействий $\{0, \delta_1, \delta_2\}$ – для рассматриваемого варианта, в мкм – {0, 10, 10}.

Аналогичным образом получается совокупность параметров для всех остальных участков. Таким образом, алгоритм компенсации температурной погрешности позволил сформировать систему корректирующих воздействий в виде:

$$R = \begin{cases} 3; \{18, 27, 15\}; \{0, 10, 10\} \\ 3; \{15, 40, 5\}; \{0, 10, 10\} \\ 1; \{60\}; \{0\} \\ 1; \{60\}; \{0\} \\ 1; \{60\}; \{0\} \end{cases} \quad (1)$$

Из (1) следует, что при спрогнозированном уровне температурной погрешности и заданном показателе точности достаточно задать корректирующие воздействия только на двух первых технологических переходах. При этом температурная погрешность механообработки сократится почти в пять раз.

Для одного перехода – фрезерование паза размером 10h7, схематически результат применения алгоритма коррекции температурной погрешности металлорежущего станка представлен на рис. 5.

Тепловая характеристика без внесения коррекции температурной погрешности индексирована 1. Величина достигаемой в этом случае температурной погрешности Δ_T . Допуск на размер – Δ . Конечная тепловая характеристика с учетом коррекции температурной погрешности имеет вид ломанной кривой 2. В этом случае величина допуска на размер 10h7 составит Δ_K .

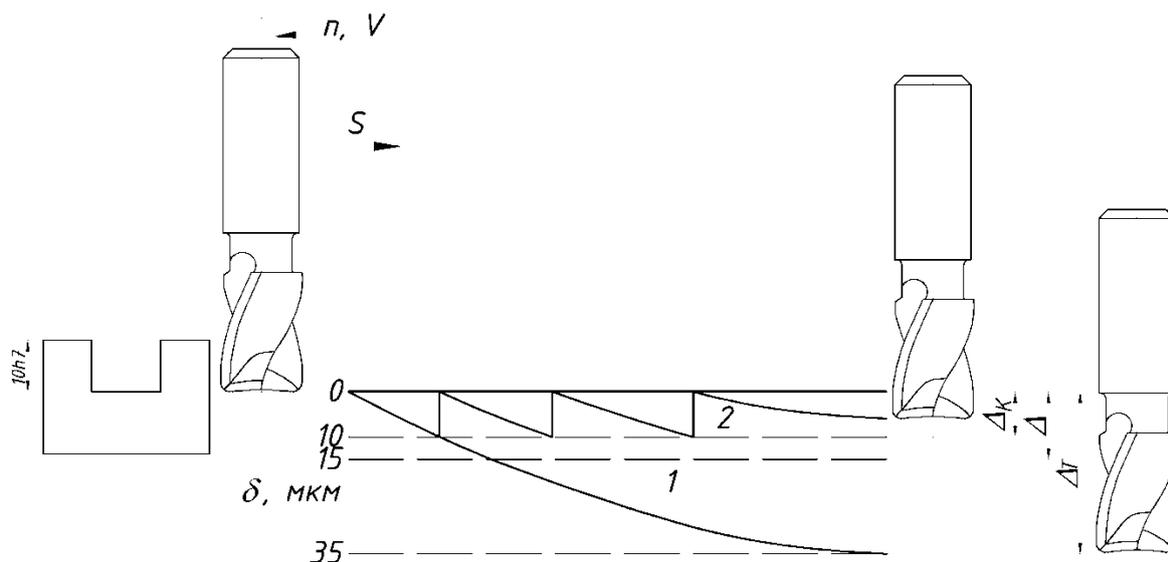


Рис. 5. Результат применения алгоритма коррекции температурной погрешности станка

Выводы

Разработан алгоритм компенсации температурной погрешности металлорежущего станка, погрешность результатов работы которого равна погрешности разработанного метода прогнозирования тепловых характеристик.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Поляков А.Н., Гончаров А.Н., Марусич К.В. Исследования экспериментальных зависимостей температурных перемещений от температур в металлорежущих станках // Технология машиностроения. – 2011. – № 2. – С. 16–22.
2. Поляков А.Н., Марусич К.В., Каменев С.В. Исследование термдеформационного состояния металлорежущего станка в условиях переменных тепловых режимов работы // Справочник. Инженерный журнал. – 2011. – № 11. – С. 45–53.
3. Марусич К.В. Прогноз температурных перемещений станков, работающих в условиях пе-

- ременных тепловых режимов // Обработка металлов. – 2011. – № 4. – С. 74–77.
4. Марусич К.В., Поляков А.Н., Гончаров А.Н. Алгоритм компенсации температурной погрешности станка // Молодежь и наука: модернизация и инновационное развитие страны: Материалы Междунар. научно-практ. конф. – Пенза, 2011. – Ч. 2. – С. 184–186.
 5. Поляков А.Н., Марусич К.В. Метод прогнозирования тепловых характеристик станков для управления точностью обработки // Современные проблемы информатизации в анализе и синтезе программных и телекоммуникационных систем: Материалы Междунар. научной конф. – Воронеж, 2012. – Вып. 17. – С. 318–320.

Поступила 27.01.2012 г.