

ОЦЕНКА ЭФФЕКТА ОТ ВНЕДРЕНИЯ ДВУХКОНТУРНОЙ СИСТЕМЫ АКТИВНОГО КОНТРОЛЯ И РАННЕГО ОБНАРУЖЕНИЯ «ОСОБОЙ» ПРИЧИНЫ ИЗМЕНЧИВОСТИ НА ОПЕРАЦИЯХ МЕХАНООБРАБОТКИ

© 2018 С.И. Клейменов¹, А.В. Зятров¹, В.Н. Козловский¹, А.Н. Чекмарев², А.В. Седельников²

¹ Самарский технический университет

² Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва

Статья поступила в редакцию 06.12.2018

В работе представлены результаты анализа эффективности внедрения двухконтурной системы активного контроля и раннего обнаружения «особой» причины изменчивости, на операциях механообработки.

Ключевые слова: качество; эффективность; механообработка; автомобилестроение.

Для оценки эффективности от внедрения новых средств контроля или модернизации уже имеющегося необходимо выполнение расчётов, позволяющих сравнить преимущества, достигаемые за счёт использования средств контроля [7-8]. Применительно к продукции механообрабатывающего производства можно провести оценку по характеру распределения контролируемых параметров для партии обработанных на данном оборудовании средств контроля [9-10]. Для сравнения можно воспользоваться моментами распределения, описывающих свойства распределений [1-3].

Первый момент – математическое ожидание или координата центра распределения. В общем случае центр распределения определяется как точка на оси абсцисс, слева и справа от которой вероятность появления различных значений случайной величины равны между собой.

$$\bar{X} = \int_{-\infty}^{+\infty} xp(x)dx, \quad (1)$$

где $p(x)$ – плотность распределения вероятностей.

При дискретных отсчётах, что имеет место в данном случае вместо вычисления интеграла допустимо перейти к вычислению среднего арифметического:

$$\bar{X} = \sum_{i=1}^n \frac{X_i}{n}. \quad (2)$$

Второй момент – дисперсия случайной величины D , характеризующая рассеяние отдельных значений от центра распределения. Действующее значение рассеяния или среднее квадратическое отклонение является более удобной для оценки характеристикой и имеет размерность случайной величины:

$$\sigma = \sqrt{D} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n}}. \quad (3)$$

Для получения несмещённой оценки дисперсии – стандартного отклонения пользуются формулой:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}. \quad (4)$$

В этой формуле вместо количества образцов n используется количество степеней свободы $n-1$. Таким образом, первая формула используется при расчёте по всей генеральной совокупности, во втором случае – по выборке. При этом разница в расчёте не заметна при большом объёме рассматриваемой выборки (больше 100).

Третий момент характеризует асимметрию или скошенность распределения относительно его среднего значения:

$$A = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{X_i - \bar{X}}{S} \right)^3. \quad (5)$$

На практике для суждения о степени симметричности большее применение имеет безразмерный коэффициент асимметрии, дающий несмещённую оценку:

$$A = \frac{n}{(n-1) \cdot (n-2)} \sum_{i=1}^n \left(\frac{X_i - \bar{X}}{S} \right)^3. \quad (6)$$

Четвёртый момент характеризует протяжённость распределения и позволяет оценить величину остроконечности распределения по отношению к нормальному:

Клейменов Сергей Иванович, соискатель ученой степени кандидата технических наук, заместитель директора ООО «Бизнес-Консалт», г. Тольятти

Зятров Алексей Викторович, кандидат технических наук.

Козловский Владимир Николаевич, доктор технических наук, профессор. E-mail: kozlovskiy-76@mail.ru

Чекмарев Анатолий Николаевич, доктор технических наук, профессор.

Седельников Андрей Валерьевич, доктор технических наук, доцент.

$$\varepsilon = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{X_i - \bar{X}}{S} \right)^4. \quad (7)$$

Обычно оценку проводят по коэффициенту эксцесса, который позволяет судить о протяжённости рассматриваемого распределения по отношению к нормальному (для которого $\varepsilon = 3$):

$$\varepsilon = \frac{n \cdot (n+1)}{(n-1) \cdot (n-2) \cdot (n-3)} \cdot \sum_{i=1}^n \left(\frac{X_i - \bar{X}}{S} \right)^4 - \frac{3 \cdot (n-1)^2}{(n-2) \cdot (n-3)}. \quad (8)$$

Испытания выполнялись на оборудовании одного из ведущих российских предприятий по выпуску автомобилей, в частности круглошлифовальном станке производства завода Livnica Kikinda, для наружной шлифовки. На указанном оборудовании выполняется обработка детали с допуском: $\varnothing 27^{-0,015} - 27^{+0,036}$ мм. Результаты замеров до модернизации и после сведены в таблицу 1. Показатели отмеченные знаком «'» относятся к данным, полученным на оборудовании до модернизации.

На рисунках 1 и 2 представлены гистограммы размеров обработанных на шлифовальном станке деталей с наложенным графиком функции плотности распределения вероятностей нормального закона со старым средством контроля и с использованием двухконтурной структуры активного контроля соответственно. Помимо замены самого средства активного контроля дополнительно проводились работы по модернизации шлифовального станка. Дополнительно в таблицу 2 сведены статистические показатели полученных результатов. Все значения размера обработанных деталей представлены в относительном виде относительно центра поля допуска на обрабатываемую деталь – 26,975 мм.

Анализ рисунков 1 и 2, а также данных в таблице 2 показывает положительный эффект от результатов модернизации контрольного оборудования и модернизации оборудования. В

Таблица 1. Результаты испытаний средств контроля

№ детали	Время'	L'_2 , мкм	T'_{OB} , сек	Время	T_{OB} , сек	$V_{МК}$, мкм/сек	L_2 , мкм
1	12:29	8	25,5	10:18	27,4	13,2	0
2	12:31	11	25,9	10:19	29	9,4	4
3	12:34	7	25,6	10:21	28,3	10,3	4
4	12:35	9	25,5	10:22	28,3	11,6	4
5	12:37	3	23,4	10:23	27,9	11,9	2
6	12:38	5	25,6	10:24	28	12,2	2
7	12:39	5	25,7	10:32	28,3	11,9	3
8	12:40	6	26,2	10:33	28,1	11,0	2
9	12:41	8	26	10:34	28,2	11,0	4
10	12:42	7	25,8	10:35	28	12,2	4
11	12:43	6	25,7	10:36	27,8	12,7	1
12	12:44	7	26	10:37	28,7	8,2	4
13	12:46	4	25,5	10:38	28,4	10,8	3
14	12:47	5	25,3	10:40	25,8	12,4	4
15	12:49	1	23,2	10:41	28,3	10,4	2
16	12:50	4	26,1	10:42	28,6	9,7	5
17	12:51	5	25,8	10:43	28,2	11,7	3
18	12:52	3	26	10:44	28,5	8,7	4
19	12:53	7	26,2	10:45	28	11,9	2
20	12:54	1	26,2	10:46	28,2	11,3	3
21	12:55	4	26,3	10:47	28	11,9	2
22	12:56	7	26,2	10:52	28,1	11,6	3
23	12:57	6	26	10:53	28,3	10,0	4
24	12:58	5	26	10:54	28,3	10,5	2
25	13:00	2	23,8	10:55	27,6	13,5	1
26	13:01	0	25,5	10:57	28,3	10,8	4
27	13:02	5	26	10:58	28	11,8	2
28	13:03	3	25,4	10:59	28	13,7	0
29	13:04	6	26,3	11:00	27,9	11,9	1
30	13:05	5	26,3	11:10	28,3	11,4	4

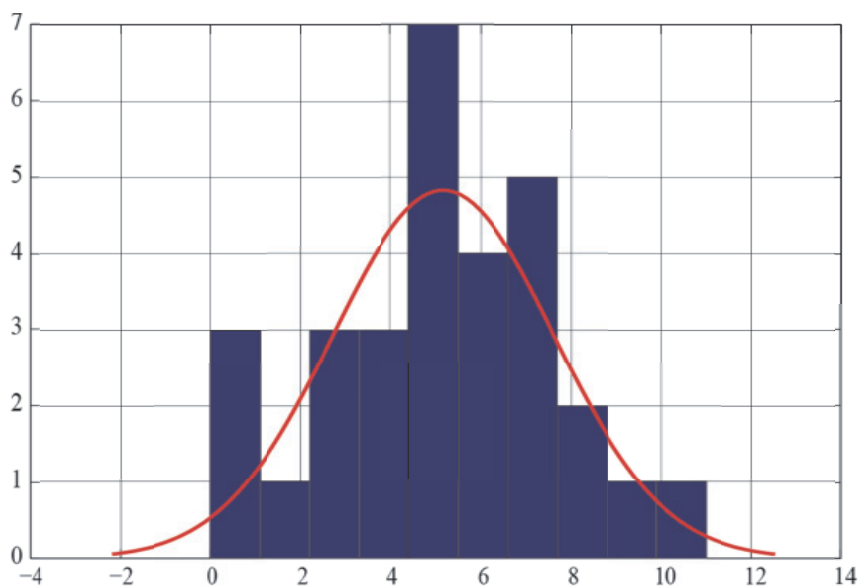


Рис. 1. Гистограмма распределения замеров на этапе послеоперационного контроля до модернизации оборудования

Таблица 2. Статистические показатели

Наименование показателя	Значение до модернизации	Значение после модернизации
Максимальное значение в выборке	11,0	5,0
Минимальное значение в выборке	0,0	0,0
Среднее арифметическое выборки	5,17	2,77
Стандартное отклонение	2,45	1,33
Коэффициент асимметрии	-0,04	-0,48
Коэффициент эксцесса	0,25	-0,64

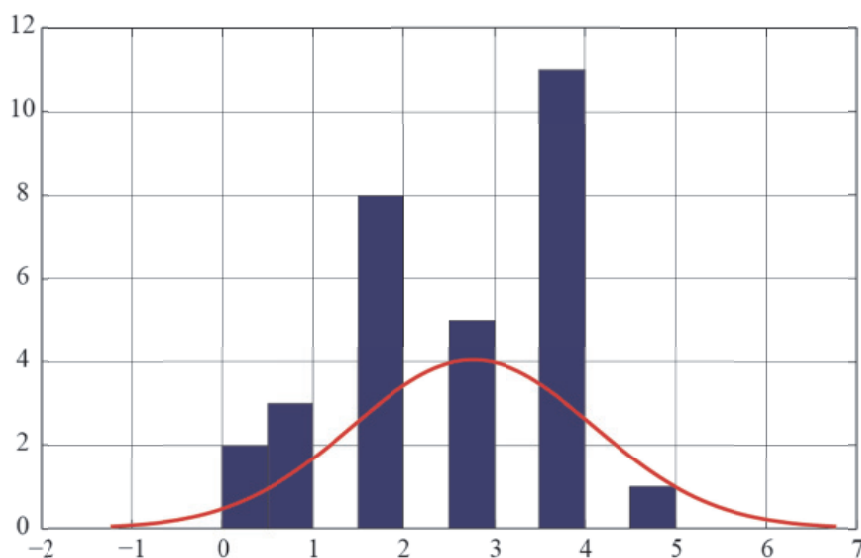


Рис. 2. Гистограмма распределения замеров на этапе послеоперационного контроля после модернизации оборудования

частности, более чем в 2 раза сократилась величина рассеяния итогового размера детали от центра распределения, а также сам центр распределения сместился ближе центру поля допу-

ска контролируемого параметра. Коэффициент асимметрии говорит о большем, чем до модернизации смещении результатов относительно среднего значения влево. Коэффициент эксцес-

са также увеличился и сменил знак по отношению к первоначальному, что свидетельствует о снижении величины остроконечности по отношению к нормальному закону распределения. Таким образом, для дальнейшего смещения центра распределения к центру поля допуска контролируемого параметра требуется провести ряд дополнительных настроек.

Выявив положительный эффект от модернизации используемого оборудования определим возможность раннего выявления момента разладки технологического процесса. Для этого сопоставим данные, получаемые на этапе активного контроля основного контура в темпе технологического процесса – конечную скорость снятия припуска в момент окончания обработки, с реальным размером детали, получаемым на этапе послеоперационного контроля дополнительного контура [4 – 6].

Для этого воспользуемся данными таблицы 1 и рассчитаем отклонение конечной скорости снятия припуска ΔV_{MK} , в качестве номинального значения выбрав среднее:

$$\Delta V_{MK i} = V_{MK i} - \bar{V}_{MK}. \quad (9)$$

А также отклонение размера детали ΔL_2 для каждой детали:

$$\Delta L_{2i} = L_{2i} - \bar{L}_2. \quad (10)$$

Результаты представлены на рисунке 3.

В подобном виде диаграммы малоинформативные и по ним сложно судить о степени соответствия между данными, получаемыми в темпе технологического процесса и в статических условиях дополнительного контура. Проведём простейшую статистическую обработку методов контрольных карт средних и размахов по 3

детали в выборке, результаты проиллюстрированы на рисунке 4.

Анализ контрольных карт, представленных на рисунке 4, уже достаточно информативен и позволяет отследить общие тенденции на обоих графиках, в особенности для карты средних. Коэффициент корреляции, рассчитанный для значений отклонения конечной скорости снятия припуска и отклонения размера детали, можно определить по следующему выражению:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (\Delta L_{2i} - \Delta \bar{L}_2) \cdot (\Delta V_{MK i} - \Delta \bar{V}_{MK})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (\Delta L_{2i} - \Delta \bar{L}_2)^2 \cdot \sum_{i=1}^n (\Delta V_{MK i} - \Delta \bar{V}_{MK})^2}}. \quad (11)$$

Коэффициент корреляции получился $R = -0,8987$, что подтверждает высокую степень связи между анализируемыми параметрами. В этой связи можно рассчитать коэффициенты аппроксимирующего выражения для отклонения размера через показатели отклонения конечной скорости съёма припуска, которое будет иметь вид:

$$\Delta L = A_1 \cdot \Delta V_{MK} + A_2, \quad (12)$$

где A_1 и A_2 – постоянные коэффициенты, для конкретного оборудования и параметров обработки.

В рассматриваемом случае выражение (12) примет вид:

$$\Delta L = -0,769 \cdot \Delta V_{MK} - 0,01, \quad (13)$$

Представим на одном графике (рисунок 5) контрольную карту средних значений отклонения размеров деталей, полученных непосредственно в дополнительном контуре ΔL_2 с отклонением размеров деталей, рассчитанных по



Рис. 3. Точечные диаграммы конечной скорости снятия припуска и размеров деталей

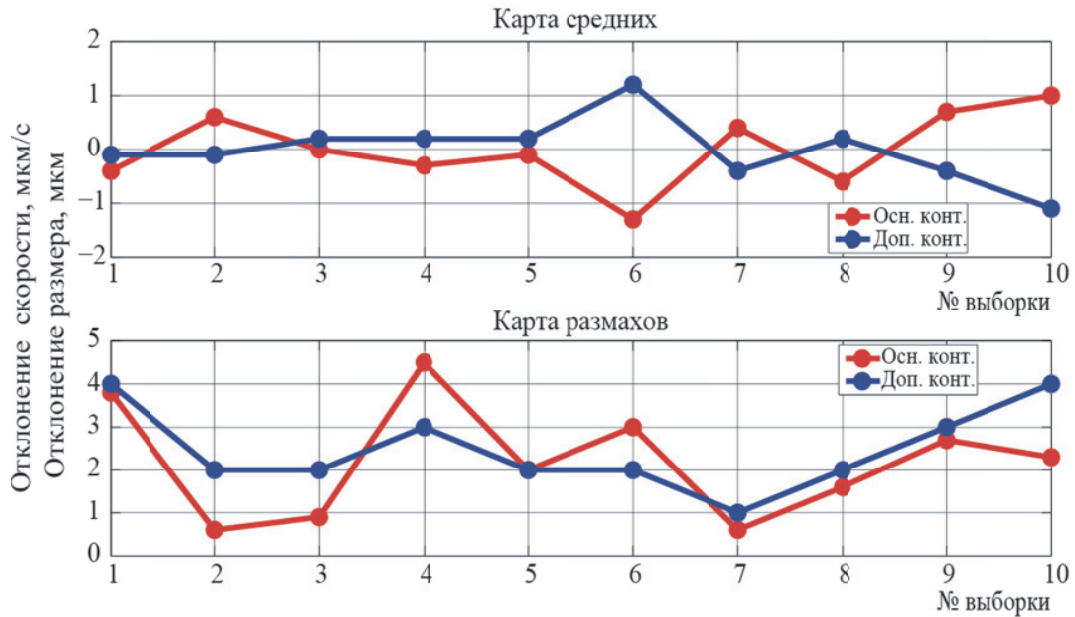


Рис. 4. Контрольные карты средних и размахов для отклонения скорости и размера

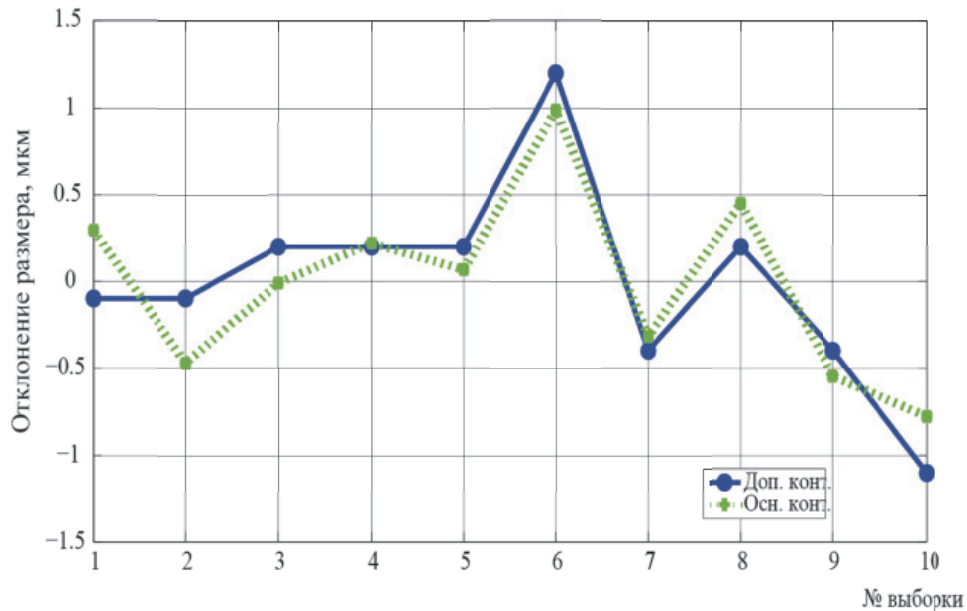


Рис. 5. Карта средних значений отклонения размера деталей для основного ΔL_1 и дополнительного ΔL_2 контуров

выражению (13) на основе отклонения конечной скорости снятия припуска в момент окончания обработки в основном контуре ΔL_1 .

Как видно из сравнения представленных графиков рассчитанные значения отклонения размера детали в основном контуре хорошо повторяют результаты статического контроля дополнительного контура. Максимальные расхождения между отклонением размера, полученном в динамическом режиме и статическом режиме прослеживаются только на первых двух выборках, достигая максимальной разницы в 0,4 мкм.

Таким образом, данные получаемые в темпе технологического процесса могут быть использованы для оценки качества готовых деталей,

являясь довольно точным показателем отклонения геометрических параметров детали от номинального значения. Также это позволит использовать данные параметры для раннего обнаружения причин изменчивости, выводящих технологический процесс из устойчивого состояния.

Стоит отметить, что величины погрешности обработки ΔL , даже при постоянстве времени отвода шлифовального круга в момент окончания обработки, близки к результатам, полученным во втором контуре системы контроля только в случае больших значений конечной скорости снятия припуска $V_{МК}$. Если значения $V_{МК}$ находятся в диапазоне от 5 мкм/с и выше,

то совпадение динамической погрешности размера, полученное в основном контуре с результатами статических измерений в дополнительном контуре велико. В случае, когда значения $V_{МК}$ находятся в диапазоне до 5 мкм/с, что часто имеет место в производственной практике, увеличивается доля влияния прочих возмущающих факторов – температурный режим обработки, состояние шлифовального круга и периодичность его правки, качество СОЖ и её количество, поступающее в зону обработки. В подобных ситуациях требуется контроль дополнительных факторов для более точных вычислений.

Помимо проблемы повышения качества выпускаемой продукции в направлении увеличения точности обработки, особенно при модернизации уже имеющегося оборудования возникает вопрос об экономической целесообразности подобных улучшений. Современные приборы как активного, так и послеоперационного контроля в совокупности с измерительной оснасткой (измерительное приспособление, датчики контроля, эталоны и т.п.) стоят довольно дорого. Помимо стоимости самих приборов необходимо учитывать затраты, связанные с их обслуживанием в период эксплуатации (ремонт, настройка и калибровка). Если вопрос о целесообразности установки на новом оборудовании, впервые вводимом в эксплуатацию, средств активного и послеоперационного контроля не встаёт, то при модернизации он чрезвычайно актуален. Для этого проводится экономический расчёт, причём оцениваются показатели как для уже функционирующего оборудования, так и для нового с тем, чтобы сопоставить разницу между текущими показателями и величиной положительного эффекта, который может быть достигнут после внедрения новых средств контроля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Годлевский В.Е.* Статистические методы анализа качества. Самара, НВФ «Сенсоры. Модули. Системы», 1998. 103 с.
2. *Заятров А.В., Козловский В.Н.* Комплексная оценка качества и надёжности электрооборудования транспортных средств: монография. Самара: СамНЦ РАН. 2014. 176 с.
3. *Заятров А.В.* Использование двухконтурных систем активного контроля для повышения качества продукции // Молодежная наука в развитии регионов: материалы Всерос. (с междунар. участием) науч.-практ. конф. студентов и молодых ученых (Березники, 25 апреля 2018). Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политех. ун-та, 2018. С. 84 – 87.
4. *Кобзарь А.И.* Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. 816 с.
5. *Новицкий П.В., Зограф И.А.* Оценка погрешностей результатов измерений. Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1991. 304 с.
6. *Решетов А.Г.* Автоматизация шлифования и размерного контроля деталей. СПб.: Политехника, 2003. 193 с.
7. *Козловский В.Н., Горбачевский Н.И., Сорокин А.Г.* Аналитический комплекс прогнозирования надёжности электромобилей и автомобилей с комбинированной силовой установкой // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17. № 3. С. 227-229.
8. *Козловский В.Н.* Обеспечение качества и надёжности системы электрооборудования автомобилей: Дис. ... докт. техн. наук. Моск. гос. автомобил.-дорож. ин-т (техн. ун-т). Тольятти, 2010
9. *Гречников Ф.В., Яковичин А.С., Захаров О.В.* Минимизация объема измерений плоских поверхностей деталей при сборке // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2018. № 2. С. 56-58.
10. *Гречников Ф.В., Яковичин А.С., Захаров О.В.* Минимизация объема измерений при контроле цилиндрических поверхностей на основе статистического моделирования // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение. 2017. Т. 19. № 4. С. 101-110.

ASSESSMENT OF THE EFFECT OF THE INTRODUCTION OF A TWO-CIRCUIT SYSTEM OF ACTIVE CONTROL AND EARLY DETECTION OF A “SPECIAL” CAUSE OF VARIABILITY IN MACHINING OPERATIONS

© 2018 S.I. Kleimenov¹, A.V. Zayatrov¹, V.N. Kozlovsky¹, A.N. Chekmarev², A.V. Sedelnikov²

¹ Samara Technical University

² Samara National Research University named after Academician S.P. Korolyov

The paper presents the results of an analysis of the effectiveness of the implementation of a two-circuit active control system and the early detection of a “special” cause of variability in mechanical processing operations.

Keywords: quality; efficiency; mechanical processing; automotive industry.

Sergey Kleimenov, Candidate for a Scientific Degree of Candidate of Technical Sciences, Deputy Director of Business Consult LLC, Togliatt

Alexey Zayatrov, Candidate of Technics, Professor.

Vladimir Kozlovsky, Doctor of Technics, Professor.

E-mail: kozlovskiy-76@mail.ru

Anatoly Chekmarev, Doctor of Technics, Professor.

Andrei Sedelnikov, Doctor of Technics, Associate Professor.