

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
В ИССЛЕДОВАНИЯХ ШЕРОХОВАТОСТИ
ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ВНУТРЕННИМ ПОВЕРХНОСТЯМ*****Р. В. Гусейнов¹, Э. З. Батманов¹, В. П. Булгаков²****¹Дагестанский государственный технический университет,
Махачкала, Российская Федерация**²Астраханский государственный технический университет,
Астрахань, Российская Федерация*

Рассматриваются вопросы математического моделирования шероховатости поверхностей, полученных обработкой резанием. Указано на связь шероховатости с технологическими параметрами системы СПИД и проблему обеспечения низкой шероховатости внутренних резьб. Проведён анализ существующих математических моделей шероховатости обработанных поверхностей, отмечена необходимость разработки математической модели шероховатости внутренних поверхностей. Разработана математическая модель шероховатости резьбового профиля внутренней резьбы, полученной метчиком в деталях из высокопрочной коррозионностойкой стали ДИ-8, широко используемой для изготовления деталей морской техники, с использованием методов планирования экспериментов. В качестве независимых параметров выбраны геометрические параметры режущей части метчика: угол заборного конуса, передний и задний углы заточки. Перечислены параметры для количественной оценки и нормирования шероховатости поверхностей, указанные в ГОСТ 2789-73: высотные, шаговые, параметр относительно опорной длины профиля. В качестве параметра шероховатости предлагается использовать среднеквадратическое отклонение профиля микронеровностей. Для оценки шероховатости использован метод слепков, для измерения показателя шероховатости поверхности слепка применяли прибор светового сечения МИС-11 системы В. П. Линника. Указано на эффективность метода планирования экспериментов при прогнозировании шероховатости внутренних поверхностей. Теоретические исследования основываются на положениях теории резания металлов и методов планирования экспериментов с применением регрессионного анализа; экспериментальные исследования проведены в лабораторных условиях с использованием ЭВМ. Результаты исследования позволяют существенно повысить качество обработки поверхностей в технологии судостроения.

Ключевые слова: шероховатость, математическая модель, внутренние поверхности, метчик, планирование экспериментов, геометрические параметры.

Для цитирования: Гусейнов Р. В., Батманов Э. З., Булгаков В. П. Математическое моделирование в исследованиях шероховатости применительно к внутренним поверхностям // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2019. № 1. С. 27–33. DOI: 10.24143/2073-1574-2019-1-27-33.

Введение

Повышение качества обработки поверхностей является одной из приоритетных задач технологии судостроения на современном этапе. Здесь в основном требуются точность обработки и шероховатость обрабатываемой поверхности.

Совершенно очевидно, что низкая шероховатость обуславливает высокие эксплуатационные свойства изделий. Наличие точной модели шероховатости позволит выбрать оптимальные параметры процессов резания.

Вопросам оценки влияния различных технологических факторов на качество обработки резанием посвящено большое количество работ как российских, так и зарубежных авторов [1–10]. Разработаны различные математические зависимости влияния скорости резания, подачи, глубины резания, угловых параметров режущего инструмента, применяемой смазочно-охлаждающей жидкости, марки обрабатываемых материалов, вибраций и других факторов на шероховатость.

Анализ существующих математических моделей шероховатости обработанных поверхностей

На практике часто используются эмпирические зависимости [1]. В них применяются различные усредненные поправочные коэффициенты, учитывающие влияние различных факторов при разработке модели. Необходимо заметить, что диапазон выбора этих коэффициентов весьма широк. Выбор того или иного значения коэффициента часто носит субъективный характер, что существенно снижает достоверность полученных результатов.

В работе [2] сделана попытка повышения точности модели за счёт увеличения точности определения поправочных коэффициентов, в работе [3] получена математическая модель влияния адгезионных явлений при резании на шероховатость при токарной обработке, а в работе [4] разработана теоретическая модель влияния подачи на шероховатость поверхности.

Изучению влияния геометрических параметров инструмента, режимов резания и вибраций на шероховатость посвящена работа [5], в ней построена имитационная модель рельефа поверхности.

Автор [6] при исследовании влияния геометрии инструмента на шероховатость учитывал и точность установки режущей пластины в корпусе торцевой фрезы.

В последнее время в связи с развитием компьютерного моделирования широко стали применять трёхмерные модели рельефа обрабатываемой поверхности. Такие работы проводятся в основном за рубежом. Известна работа [7], в которой автор при оценке шероховатости рассматривал формирование не только высотных параметров шероховатости, но и макропараметров качества поверхности (волнистость, форма).

В работе [8] при компьютерном моделировании рельефа поверхности учитывалось влияние точности кинематических показателей станка и геометрических параметров фрезы на параметры шероховатости.

Для моделирования шероховатости в последние годы стали широко применять искусственные нейронные сети [9, 10]. Их применение повышает степень адекватности полученной модели, они могут замещать математические расчёты при моделировании.

Недостаток указанных работ в том, что при резании не учтены динамические явления и вызванные этим вибрации технологической системы СПИД, которые оказывают существенное влияние на параметры качества обработанной поверхности [11–15].

Таким образом, полученные модели с той или иной степенью точности описывают формирование шероховатости поверхности при резании, однако большинство из них посвящено процессам токарной и фрезерной обработки материалов, теоретические же модели требуют усовершенствования.

Цель исследования – разработка математической модели влияния геометрических параметров режущего инструмента на шероховатость обработанных внутренних поверхностей.

Методы и средства исследования

Теоретические исследования базируются на основе положений теории резания металлов и методов планирования экспериментов с применением регрессионного анализа. Экспериментальные исследования выполнены в лабораторных условиях с использованием ЭВМ. Обработка результатов производилась на базе аппарата математической статистики с использованием специализированных прикладных программ.

Методика получения математической модели

Как было указано выше, на шероховатость обработанных поверхностей влияет очень много факторов. Разработать теоретическую модель с учётом всех факторов представляется невозможным. Кроме того, такая модель требует и конкретного экспериментального подтверждения. Поэтому в данной работе используется экспериментальный подход, при этом применяется метод планирования экспериментов, который продолжает оставаться самым используемым методом при исследованиях процессов резания [16–18].

Планирование экспериментов предполагает выбор числа и условий проведения опытов, необходимых и достаточных для решения поставленной задачи с требуемой точностью. При выборе независимых факторов должны быть удовлетворены основные требования к ним: они должны непосредственно воздействовать на объект, быть действительно независимыми, измеряемыми, управляемыми.

В наших исследованиях в соответствии с целью работы в качестве независимых переменных приняты геометрические параметры режущей части метчика: φ – угол заборного конуса, α – задний угол, γ – передний угол заточки; зависимой – шероховатость поверхности.

Большой проблемой является неправильный выбор количественного показателя шероховатости резьбового профиля внутренней резьбы. Дело в том, что ГОСТ 2789-73 «Шероховатость поверхностей. Параметры и характеристики» (соответствует ИСО Р 468) для количественной оценки и нормирования шероховатости поверхностей устанавливает шесть параметров:

– высотные (Ra – среднее арифметическое отклонение профиля, Rz – высота неровностей по десяти точкам, R_{max} – наибольшая высота профиля);

– шаговые (S – средний шаг местных выступов профиля, Sm – средний шаг неровностей профиля);

– параметр относительной опорной длины профиля (t_p – относительная опорная длина профиля, где p – уровень сечения профиля).

Кроме этих параметров, в работе [19] предлагается использовать среднеквадратическое отклонение профиля микронеровностей Rg в качестве параметра шероховатости.

Необходимо заметить, что требования к шероховатости поверхности деталей, как правило, назначают исходя из условий обеспечения высоких эксплуатационных свойств изделия, которые во многом определяются высотными параметрами шероховатости Ra и Rz .

В данной работе в качестве параметра шероховатости принят Ra , это связано с тем, что, во-первых, внутренняя резьбовая поверхность труднодоступна для измерений всех показателей шероховатости и, во-вторых, величину Rz трудно измерить из-за малой базовой длины и сложности формы измеряемой поверхности. Что касается показателя Rg , то он позволяет отразить как периодические, так и случайные составляющие распределения шероховатости обработанной поверхности, что наиболее эффективно при исследовании шероховатости гладких поверхностей, в частности шлифованных.

Каждый выбранный фактор имеет область своего определения. Диапазон рекомендуемых значений этих углов зависит от марки обрабатываемого материала. Локальную область определения факторов установили в соответствии с рекомендуемыми справочной литературой геометрическими параметрами заточки инструмента [20]: γ (6–12°); α (5–7°); φ (6–9°).

В полном факторном эксперименте для каждого фактора выбирается определённое число уровней. Было решено варьировать каждый из факторов на двух уровнях.

Интервалы варьирования факторов и их значения в натуральном масштабе на основном, верхнем и нижнем уровнях указаны в табл. 1.

Таблица 1

Уровни факторов

Факторы	X_1 (φ , градус)	X_2 (α , градус)	X_3 (γ , градус)
Основной уровень (X_i)	7,5	5,5	7
Интервал варьирования (ΔX_i)	1,5	1,5	3
Верхний уровень ($x_i = 1$)	6	4	4
Нижний уровень ($x_i = -1$)	9	7	10

Кодированные значения факторов x_i связаны с натуральными X_i соотношениями

$$x_1 = \frac{X_1 - 7,5}{1,5}; \quad x_2 = \frac{X_2 - 5,5}{1,5}; \quad x_3 = \frac{X_3 - 7}{3}.$$

Для получения возможной более полной информации об изучаемых зависимостях решили воспользоваться полным факторным экспериментом 2^3 .

Условия проведения эксперимента: обрабатываемый материал – сталь ДИ-8; режущий инструмент – метчик М10; оборудование – вертикально-сверлильный станок 2Н135; скорость резания – 3 м/мин; обработка самозатягиванием без принудительной подачи.

При оценке шероховатости нами использовался метод слепков, сущность которого заключается в следующем. Парафин с силой прилагался к исследуемой поверхности и после застывания отделялся от поверхности. Получался слепок, зеркально повторяющий неровности

измеряемой поверхности. Для измерения показателя шероховатости Ra поверхности слепка, характеризующего шероховатость измеряемой поверхности, применяли прибор светового сечения МИС-11 системы В. П. Линника.

В соответствии с выбранным планом было выполнено 8 опытов, каждый опыт повторяли 3 раза. Для обеспечения нечувствительности испытаний к систематическим ошибкам применялась рандомизация опытов. Для этого условия опытов реализовались в случайной последовательности.

Результаты экспериментов

План эксперимента в кодовом масштабе с результатами опытов записан в табл. 2.

Таблица 2

План и результаты опытов

№ опыта	x_0	x_1	x_2	x_3	x_{12}	x_{13}	x_{23}	x_{123}	Ra
1	+	-	+	-	-	+	-	+	3,08
2	+	-	-	-	+	+	+	-	2,75
3	+	+	-	-	-	-	+	+	3,32
4	+	+	+	-	+	-	-	-	4,78
5	+	-	+	+	-	-	+	-	4,17
6	+	-	-	+	+	-	-	+	4,31
7	+	+	-	+	-	+	-	-	4,87
8	+	+	+	+	+	+	+	+	4,01

В случае реализации полного факторного эксперимента по плану 2^3 можем получить полиномиальную модель вида

$$Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{123}x_1x_2x_3,$$

где b_0 – свободный член; b_1, b_2, b_3 – коэффициенты, учитывающие линейное влияние выбранных факторов на Y ; $b_{12}, b_{13}, b_{23}, b_{123}$ – коэффициенты, учитывающие влияние на Y произведения соответствующих факторов.

Для нахождения указанных коэффициентов применялся регрессионный анализ, в основе которого используется метод наименьших квадратов.

Их значения оказались следующими: $b_0 = 3,911$; $b_1 = 0,334$; $b_2 = 0,098$; $b_3 = 0,429$; $b_{12} = 0,05$; $b_{13} = -0,234$; $b_{23} = -0,349$; $b_{123} = -0,231$.

В натуральном масштабе получено следующее уравнение регрессии:

$$Ra = 5,985 - 0,855\varphi - 1,361\alpha - 0,455\gamma + 0,261\varphi\alpha + 0,136\varphi\gamma + 0,179\alpha\gamma - 0,034\varphi\alpha\gamma.$$

Значимость коэффициентов полинома проверялась по критерию Стьюдента. Проверка адекватности модели проводилась с помощью критерия Фишера.

Анализ этой формулы показывает, что однофакторный экспериментальный анализ как метод исследования неприемлем для оптимизации геометрических параметров инструмента, т. к. существенны корреляционные связи при одновременном действии этих факторов.

Производственные испытания доказали, что погрешность между расчётными и экспериментальными значениями Ra не превышает 10–15 %, что указывает на то, что приведённая методика математического моделирования может быть рекомендована для прогнозирования шероховатости внутренних поверхностей в зависимости от условий резания с достаточной для практики точностью.

Заключение

Для прогнозирования шероховатости обработанных поверхностей могут применяться как теоретические, так и экспериментальные методы. В случаях обработки внутренних поверхностей, когда описание взаимодействия режущего инструмента с обрабатываемой поверхностью достаточно сложно, используются экспериментальные методы построения математических моделей. При этом следует отдавать предпочтение методам планирования экспериментов. Благодаря полученным результатам можно рекомендовать основные параметры резания труднообра-

батываемых судостроительных сталей и сплавов из условия оптимизации шероховатости обработанных поверхностей и существенно облегчить поиск их оптимальных значений для каждого конкретного материала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Суслов А. Г. Качество поверхностного слоя деталей машин. М.: Машиностроение, 2000. 244 с.
2. Сергеев А. С., Зайцева Н. Г., Плотников А. Л. Математическая модель формирования шероховатости поверхности при точении сталей на основе оперативного сигнала термоЭДС // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). 2012. № 3. С. 20–23.
3. Grzesik W. A revised model for predicting surface roughness in turning // Wear. 1996. N. 194. P. 143–148.
4. Boothroyd G., Knight W. A. Fundamentals of Machining and Machine Tools. N. Y.: Marcel Dekker, 1988. 542 p.
5. Lin S. C., Chang M. F. A study on the effects of vibrations on the surface finish using a surface topography simulation model for turning // International Journal of Machine Tools and Manufacture. 1998. N. 38. P. 763–782.
6. Baek D. K., Ko T. J., Kim H. S. Optimization of feedrate in a face milling operation using a surface roughness model // International Journal of Machine Tools and Manufacture. 2001. N. 41. P. 451–462.
7. Chen C.-C. A., Liu W.-C., Duffie N. A. A surface topography model for automated surface finishing // International Journal of Machine Tools and Manufacture. 1998. N. 38. P. 543–550.
8. Ehmman K. F., Hong M. S. A generalized model of the surface generation process in metal cutting // CIRP Annals. 1994. N. 43. P. 483–486.
9. Şeref Aykut. Surface Roughness Prediction in Machining Castamide Material Using ANN // Acta Polytechnica Hungarica. 2011. Vol. 8. N. 2. P. 21–32.
10. Yang L., Chen J. C. An In-Process Surface Roughness Recognition System in End Milling Operations // The Journal of Technology Studies. 2004. Vol. 30. P. 98–103.
11. Гусейнов Р. В. Исследование, оптимизация и научное обоснование динамических процессов при обработке внутренних поверхностей в труднообрабатываемых материалах: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. СПб., 1998. 33 с.
12. Гусейнов Р. В. Вибрации при обработке отверстий резанием // Металлообработка. 2017. № 4. С. 23–28.
13. Гусейнов Р. В. Нарезание точных резьб // Вестн. машиностроения. 2004. № 10. С. 47–48.
14. Гусейнов Р. В., Гусейнова Р. В. Расчётная модель динамики нелинейных систем // Вестн. Дагестан. гос. техн. ун-та. Сер.: Технические науки. 2015. № 1 (38). С. 24–30.
15. Thomas M., Beauchamp Y., Youssef A. Y., Masounave J. Effect of tool vibrations on surface roughness during lathe dry turning process // Computers in Industrial Engineering. 1996. N. 31. P. 637–644.
16. Das S. R., Dhura D., Kumar A. Experimental Study & Modeling of Surface Roughness in Turning of Hardened AISI 4340 Steel Using Coated Carbide Inserted // International Journal of Automotive Engineering. 2013. Vol. 3. N. 1. P. 284–292.
17. Гусейнов Р. В., Султанова Л. М. Особенности моделирования в оптимизационных задачах теории резания металлов // Вестн. Дагестан. гос. техн. ун-та. Сер.: Технические науки. 2017. Т. 44. № 1. С. 8–16.
18. Гусейнов Р. В., Рустамова М. Р. Исследование влияния геометрических параметров инструмента на силы резания при обработке внутренних поверхностей методом планирования экспериментов // Вестн. Дагестан. гос. техн. ун-та. Сер.: Технические науки. 2011. № 21. С. 83–87.
19. Добротворський С. С. Наукові основи процесу лазерної правки шліфувальних кругів з надтвердих матеріалів: автореф. дисс. ... д-ра техн. наук. Київ, 1996. 37 с.
20. Справочник инструментальщика / под ред. И. А. Ординарцева. Л.: Машиностроение, 1987. 846 с.

Статья поступила в редакцию 01.11.2018

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Гусейнов Расул Вагидович – Россия, 367026, Махачкала; Дагестанский государственный технический университет; г-р техн. наук, профессор; профессор кафедры организации и безопасности движения; ragus05@mail.ru.

Батманов Эдвард Загидинович – Россия, 367026, Махачкала; Дагестанский государственный технический университет; канд. техн. наук, доцент; старший преподаватель кафедры организации и безопасности движения; batmanov.1978@mail.ru.

Булгаков Владимир Павлович — Россия, 414056, Астрахань; Астраханский государственный технический университет; д-р техн. наук, профессор; профессор кафедры судостроения и энергетических комплексов морской техники; techmet@astu.ru.



MATHEMATICAL MODELING IN THE STUDY OF ROUGHNESS AS APPLIED TO INTERNAL SURFACES

R. V. Guseinov¹, E. Z. Batmanov¹, V. P. Bulgakov²

¹Dagestan State Technical University, Makhachkala, Russian Federation

²Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russian Federation

Abstract. The article considers the problems of mathematical modeling roughness of surfaces obtained in the cutting process. Roughness is related with the technological parameters of the system “machine-fixture-tool-workpiece” and the problem of fine finish of internal threads. There have been analyzed the existing mathematical models of finished surface roughness and stated the need to develop a mathematical model of internal surface roughness. There has been worked out a mathematical model of threaded profile roughness of the internal thread made by the tap in the details made from high-strength corrosion-resistant DI-8 grade steel that is popular in ship equipment building, by using methods of planning experiments. Geometric parameters of the tap cutting part have been taken as independent: angle of the intake cone, face and rear grinding angles. There have been listed parameters for qualitative evaluating and rating sharpened surfaces that are given in GOST 2789-73: altitudinal, step, profile bearing surface parameters. A mean-square deviation of microroughness profile was suggested to use as a roughness parameter. Impression method was used to evaluate roughness, light section device МИС-11 of V.P. Linnik was used to measure mold surface roughness. The method of planning experiments of predicting the roughness of internal surfaces has been found efficient. Theoretical studies are based on metal cutting methods, as well on methods of experiment planning with application of regression analysis; experimental research was conducted under laboratory conditions by using a computation machine. The research results allow to greatly improve the surface finish technologies in shipbuilding.

Key words: roughness, mathematical model, inner surface, tap, design of experiments, geometric parameters.

For citation: Guseinov R. V., Batmanov E. Z., Bulgakov V. P. Mathematical modeling in the study of roughness as applied to internal surfaces. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technologies*. 2019;1:27-33. (In Russ.) DOI: 10.24143/2073-1574-2019-1-27-33.

REFERENCES

1. Suslov A. G. *Kachestvo poverkhnostnogo sloia detalei mashin* [Quality of machine element surface layer]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2000. 244 p.
2. Sergeev A. S., Zaitseva N. G., Plotnikov A. L. Matematicheskaia model' formirovaniia sherokhovatosti poverkhnosti pri tochenii stalei na osnove operativnogo signala termoEDS [Mathematical model of surface roughness in turning steels using thermo-EMF operation signal]. *Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty)*, 2012, no. 3, pp. 20-23.
3. Grzesik W. A revised model for predicting surface roughness in turning. *Wear*, 1996, no. 194, pp. 143-148.
4. Boothroyd G., Knight W. A. *Fundamentals of Machining and Machine Tools*. New York, Marcel Dekker, 1988. 542 p.
5. Lin S. C., Chang M. F. A study on the effects of vibrations on the surface finish using a surface topography simulation model for turning. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 1998, no. 38, pp. 763-782.
6. Baek D. K., Ko T. J., Kim H. S. Optimization of feedrate in a face milling operation using a surface roughness model. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 2001, no. 41, pp. 451-462.
7. Chen C.-C. A., Liu W.-C., Duffie N. A. A surface topography model for automated surface finishing. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 1998, no. 38, pp. 543-550.

8. Ehmann K. F., Hong M. S. A generalized model of the surface generation process in metal cutting. *CIRP Annals*, 1994, no. 43, pp. 483-486.
9. Şeref Aykut. Surface Roughness Prediction in Machining Castamide Material Using ANN. *Acta Polytechnica Hungarica*, 2011, vol. 8, no. 2, pp. 21-32.
10. Yang L., Chen J. C. An In-Process Surface Roughness Recognition System in End Milling Operations. *The Journal of Technology Studies*, 2004, vol. 30, pp. 98-103.
11. Guseinov R. V. *Issledovanie, optimizatsiia i nauchnoe obosnovanie dinamicheskikh protsessov pri obrabotke vnutrennikh poverkhnostei v trudnoobrabatyvaemykh materialakh. Avtoreferat dis. ... doktora tekhn. nauk* [Study, optimization and scientific basis of dynamic processes in turning tough material inner surfaces. Diss. Abstr. ... Doc. Tech. Sci.]. Saint-Petersburg, 1998. 33 p.
12. Guseinov R. V. Vibratsii pri obrabotke otverstii rezaniem [Vibrations in cutting holes]. *Metalloobrabotka*, 2017, no. 4, pp. 23-28.
13. Guseinov R. V. Narezanie tochnykh rez'b [Cutting precise threads]. *Vestnik mashinostroeniia*, 2004, no. 10, pp. 47-48.
14. Guseinov R. V., Guseinova R. V. Raschetnaia model' dinamiki nelineinykh sistem [Design model of non-linear system dynamics]. *Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriia: Tekhnicheskie nauki*, 2015, no. 1 (38), pp. 24-30.
15. Thomas M., Beauchamp Y., Youssef A. Y., Masounave J. Effect of tool vibrations on surface roughness during lathe dry turning process. *Computers in Industrial Engineering*, 1996, no. 31, pp. 637-644.
16. Das S. R., Dhupa D., Kumar A. Experimental Study & Modeling of Surface Roughness in Turning of Hardened AISI 4340 Steel Using Coated Carbide Inserted. *International Journal of Automotive Engineering*, 2013, vol. 3, no. 1, pp. 284-292.
17. Guseinov R. V., Sultanova L. M. Osobennosti modelirovaniia v optimizatsionnykh zadachakh teorii rezaniia metallov [Characteristics of modelling in optimization problems of metal cutting theory]. *Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriia: Tekhnicheskie nauki*, 2017, vol. 44, no. 1, pp. 8-16.
18. Guseinov R. V., Rustamova M. R. Issledovanie vliianiia geometricheskikh parametrov instrumenta na sily rezaniia pri obrabotke vnutrennikh poverkhnostei metodom planirovaniia eksperimentov [Study of impact of tool geometric parameters on cutting force in the process of inner surface finishing using design of experiment]. *Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriia: Tekhnicheskie nauki*, 2011, no. 21, pp. 83-87.
19. Dobrotvors'kii S. S. *Naukovi osnovi protsesu lazernoï pravki shlifival'nikh krugiv z nadtverdikh materialiv. Avtoreferat diss. ... doktora tekhn. nauk* [Scientific basis of laser finishing of hard material grinding discs]. Kiïv, 1996. 37 p.
20. *Spravochnik instrumental'shechika* [Toll maker reference book]. Pod redaktsiei I. A. Ordinartseva. Leningrad, Mashinostroenie Publ., 1987. 846 p.

The article submitted to the editors 01.11.2018

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Guseinov Rasul Vagidovich – Russia, 367026, Makhachkala; Dagestan State Technical University; Doctor of Technical Sciences, Professor; Professor of the Department of Traffic Organization and Safety; ragus05@mail.ru.

Batmanov Edward Zagidinovich – Russia, 367026, Makhachkala; Dagestan State Technical University; Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor; Senior Lecturer of the Department of Traffic Organization and Safety; batmanov.1978@mail.ru.

Bulgakov Vladimir Pavlovich – Russia, 414056, Astrakhan; Astrakhan State Technical University; Doctor of Technical Sciences, Professor; Professor of the Shipbuilding Department and Power Complexes of Marine Facilities; techmet@astu.ru.

