УДК 620.1(075)

ОСОБЕННОСТИ РАЗРУШЕНИЯ ТОНКИХ СТАЛЬНЫХ ОБРАЗЦОВ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ

PECULIARITIES OF THIN STEEL SPECIMENS FRACTURE UNDER TENSION

Р.Н. Хасанов, В.А. Гафарова, В.Ю. Пивоваров, И.Р. Кузеев

**Уфимский государственный нефтяной технический университет,
г. Уфа, Российская Федерация**

**Rim N. Khasanov, Victoria A. Gafarova, Valeriy Yu. Pivovarov,
Iskander R. Kuzeev**

Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russian Federation

Аннотация. Разрушения при реализации аварий в нефтегазовой отрасли отличаются высвобождением энергетического потенциала углеводородов и многостадийностью. Нередко вторичные разрушения бывают более значительными и вуалируют первичные акты разрушения, поэтому при расследовании причин аварии возникают трудности, связанные с определением механических характеристик стали. Разрушенные фрагменты не позволяют изготовить стандартные образцы для механических испытаний, поэтому ограничиваются оценкой твердости стали или изготовлением и испытанием стандартных образцов, захватывая металл, непосредственно не прилегающий к зоне разрушения. Поэтому актуальной задачей является определение механических характеристик на компактных образцах. Предлагаемые результаты являются фрагментом всесторонних исследований особенностей оценки механических характеристик с применением нестандартных образцов из различных марок сталей.

Авторы поставили цель – уточнить полученные ранее результаты по

определению механических характеристик стальных плоских компактных образцов, таких как удельная работа разрушения, пределы прочности и текучести, относительное удлинение. Следующая задача связана с оценкой влияния объема металла, подвергнутого испытанию для определения механических характеристик. Исследовали также, как меняются магнитные характеристики стальных образцов при утонении.

Испытание представительной пробы стальных образцов различных марок подтвердило полученные ранее результаты, которые сводятся к тому, что увеличение толщины испытываемых образцов приводит к формированию степенной или логарифмической зависимости удельной работы разрушения. Эта зависимость, независимо от марки стали, асимптотически приближается к удельной работе разрушения стандартных плоских образцов минимальной допустимой толщины. Показано также, что фактический объем образца, который участвует в акте деформирования и разрушения, влияет на результат определения механических характеристик.

Показано экспериментально, что тангенциальная составляющая напряженности магнитного поля имеет монотонно убывающий характер при утонении образца. Однако при этом образуются экстремумы, которые указывают на перестройку системы при утонении. Построенная методом наименьших квадратов линия тренда пересекает ось абсцисс (ось абсцисс – толщина пластины) на значение 0,01 мм. Это значение можно определить как верхнее значение предела изменения дробно размерного слоя.

Abstract. Fractures during accident implementation in the oil and gas industry are characterized by the hydrocarbons power potential release and a multi-stage process. Quite often, secondary fractures are more significant and veil the initial acts of fracture, therefore, one could face difficulties connected with determination of the steel mechanical parameters, when investigating the causes of the accident. The destroyed fragments do not allow to produce the standard specimens for mechanical testing, that is why one is confined to assessing the steel hardness or

producing and testing the standard specimens by capturing a metal that is not directly adjacent to the fracture zone. For this reason the crucial task is to determine the mechanical parameters of the compact specimens. The suggested results are a fragment of a comprehensive study of the mechanical parameters assessment peculiarities with the help of non-standard specimens of their different steel grades.

The authors set a goal to specify previously obtained results on mechanical parameters determination of flat steel compact specimens, such as the specific fracture work, ultimate stress and yield limits, percent elongation. The next task is connected with the assessment of the tested metal volume influence on the results of the mechanical parameters' determination. The change of the steel specimens magnetic parameters during thinning were also studied.

The test of the steel specimens representative sample of various grades confirmed previously obtained results, which come down to the fact that the tested specimens' thickness increase leads to the formation of the power-law or logarithmic dependence of the specific fracture work. This dependence, regardless the steel grade, asymptotically approaches to the specific fracture work of standard flat specimens of the minimum allowable thickness. It is also shown that the actual volume of the specimen involved in the deformation and fracture act affects on the mechanical parameters result determination.

The experiments showed that the tangential component of the magnetic field strength is monotonously decreasing upon thinning of the specimen. However, this produces extreme points that indicate onto the system restructuring while thinning. The trend line constructed with the help of the least squares method crosses the abscissa axis (plate thickness) at a value of 0.01 mm. This value can be determined as the upper value of the fractional-dimensional layer change limit.

Ключевые слова: компактные образцы, работа разрушения, предел текучести, предел прочности, сталь

Key words: compact samples, fracture work, yield strength, tensile strength, steel

Введение

В Уфимском государственном нефтяном техническом университете (УГНТУ) проводится комплекс исследований, направленный на определение возможности использовать компактные образцы для выяснения механизма разрушения при расследовании техногенных аварий [1–7]. Такие исследования ведутся для определения, например, критического коэффициента интенсивности напряжений в случае, когда геометрические размеры стандартных образцов невозможно выдержать [8, 9]. Механические характеристики в основном определяют на так называемых RTS-образцах, которые представляют собой диски различных диаметров и толщин [1–7, 10–12]. Использование таких образцов связано с некоторыми неудобствами. Дело в том, что для пенетрации дисков требуется изготовить специальную оснастку из материала, прочностные характеристики которого существенно выше, чем у испытуемого материала. В случае, когда исследуется причина аварии, бывает нежелательно использование инструмента для изготовления диска.

Другим направлением использования компактных образцов является испытание плоских прямоугольных пластин. Такие образцы можно испытывать непосредственно на испытательном оборудовании с получением стандартных диаграмм растяжения.

Однако во всех случаях использования компактных образцов, требуется введение поправочных коэффициентов, учитывающих масштабные эффекты. В случае применения дисков изготавливается партия стандартных образцов, половина из которых испытывается в соответствии с нормативами, и определяется среднее значение механической характеристики материала. Вторая часть образцов распиливается на диски, и уже испытанию подвергаются диски. При этом результаты испытания статистически обрабатываются и определяются переходные коэффициенты [4].

В случае плоских образцов также подготавливается представительный набор пластин определенной длины и ширины с различной толщиной, которые подвергаются испытанию [4]. Для сравнения и определения переходных коэффициентов, испытанию подвергаются стандартные плоские образцы, толщина которых выбирается не менее 4 мм, как рекомендуется для стандартных испытаний.

Экспериментальные исследования

Наши испытания показали [4], что при уменьшении толщины испытываемых пластин удельная работа разрушения также уменьшается. Объяснение этому явлению дается нами в рамках концепции наличия мелко-размерного слоя, ограничивающего объем [13].

С целью изучения закономерностей разрушения тонких образцов была подготовлена серия стальных образцов толщиной от 0,02 до 1 мм, размеры и общий вид которых показаны на рисунке 1. Ширина образца составляет 12,8 мм, длина равняется 75 мм.

Определение химического состава испытываемых образцов с помощью рентгенофлуоресцентного анализатора дало следующие результаты (таблица 1).

Рисунок 1. Общий вид и размеры стальных образцов

Таблица 1. Химический состав стали

Химический элемент	Обозначение	Массовая доля элементов, %
Железо	Fe	98,29
Кремний	Si	0,60
Марганец	Mn	0,86
Никель	Ni	0,07
Сера	S	0,040
Фосфор	P	0,011
Хром	Cr	0,075
Медь	Cu	0,16

Образцы были подвергнуты испытанию на растяжение на сервогидравлической испытательной системе Instron модели 8801 с постоянной скоростью нагружения 1 мм/мин (рисунок 2).

Рисунок 2. Общий вид сервогидравлической испытательной системы Instron 8801

В ходе выполнения научной работы было испытано 200 образцов с различной толщиной. Все образцы разрушились под углом 45°, так как касательные напряжения при осевом растяжении достигают наибольших значений при 45°. На рисунке 3 показан образец толщиной 0,65 мм после проведения испытания на растяжение.

Рисунок 3. Стальной образец после испытания

При определении средней величины работы разрушения из рассмотрения исключались результаты, полученные на образцах, разрушенных в области захвата. На рисунке 4 показаны результаты испытания тонких образцов.

Рисунок 4. Зависимость удельной работы разрушения от толщины образцов

С увеличением толщины образцов в диапазоне от толщин от 0,03 до 1 мм удельная работа разрушения увеличивается. Полученная зависимость описывается степенным уравнением типа:

$$A = C \cdot h^m,$$

где A – удельная работа разрушения (Дж/мм²);

C и m – коэффициенты, полученные при обработке экспериментальных результатов; для испытанных образцов $C = 6215$, $m = 0,30$.

Следующая серия экспериментов преследовала две цели.

Первая цель связана с определением работы разрушения в диапазоне толщин компактных образцов от 2 до 4 мм.

Вторая цель связана с возможностью сравнения результатов испытания стального образца со стандартными размерами (рисунок 5, а) и компактного образца, толщина которого такая же, как у стандартного образца (рисунок 5, б).

а)

б)

Рисунок 5. Эскиз стандартного образца (а) и компактного образца (б) для испытания

По результатам анализа диаграмм растяжения определены механические характеристики, такие как предел текучести, предел временного сопротивления и относительное удлинение после разрыва по ГОСТ 1497-84 «Металлы. Методы испытания на растяжение».

Для пяти стандартных образцов испытания дали результаты, которые представлены в таблицах 2 и 3.

Таблица 2. Результаты расчётов механических характеристик стандартного образца

№ образца	Предел текучести σ_T , МПа	Предел временного сопротивления σ_B , МПа	Относительное удлинение δ , %
1	421,5	516,3	23,4
2	424,9	520,1	21,9
3	428,6	524,6	24,0
4	428,2	522,1	23,7
5	431,4	525,2	21,6
Среднее значение	426,9	521,7	22,9

Таблица 3. Работа разрушения стандартных образцов

№ образца	Работа разрушения, н·мм	Удельная работа разрушения, н/мм
1	818372	10230
2	763343	9542
3	845077	10563
4	831458	10393
5	758226	9478
Среднее значение	803295	10041

Далее были испытаны компактные образцы различной толщины: 2, 3 и 4 мм.

Для сравнения результатов определения механических характеристик стандартных и компактных образцов в таблице 4 показаны результаты испытания компактных образцов толщиной 4 мм, что соответствует толщине стандартного образца. Как показывают испытания на компактных

образцах механические характеристики стали выше, чем при стандартных испытаниях. Необходимо отметить, что сравниваемые образцы отличаются только объемом деформируемой стали.

Таблица 4. Результаты расчётов механических характеристик компактного образца толщиной 4мм

№ образца	Предел текучести σ_T , МПа	Предел временного сопротивления σ_B , МПа	Относительное удлинение δ , %
1	673,4	745,2	28,1
2	642,9	714,6	29,5
3	656,0	714,4	29,1
4	638,5	711,9	27,6
5	646,3	721,2	29,1
Среднее значение	651,4	721,5	28,7

Таблица 5. Удельная работа разрушения компактных образцов

Номер образца	Удельная работа разрушения, н/мм		
	Толщина 2мм	Толщина 3мм	Толщина 4мм
1	6100	7020	8230
2	6040	7070	8327
3	6025	7120	8210
4	6050	7100	7760
5	6070	7080	8274
Среднее значение	6057	7078	8160

С учетом испытания компактных образцов толщиной 2, 3 и 4 мм зависимость удельной работы разрушения от толщины образцов показана на рисунке 6.

Характер зависимости удельной работы разрушения от толщины компактных образцов изменился. Как и ожидалось нами, степенная зависимость заменена на логарифмическую зависимость с $R^2 = 0,9548$:

$$A = 1178,8 \ln(h) + 5928,8. \quad (1)$$

В рамках концепции дробно-размерного поверхностного слоя при увеличении объема поверхностный слой теряет превалирующую роль, и удельная работа разрушения стремится к некоторому пределу. В ряде исследований [11, 12, 14] указывается на влияние состояния поверхности на результаты определения механических характеристик металлов.

Рисунок 6. Итоговая зависимость удельной работы разрушения от толщины испытанных образцов в диапазоне 0-4 мм

Образцы толщиной 4 мм, стандартный и компактный, отличаются объемом материала, который подвергается нагружению. При этом механические характеристики стандартного образца оказываются ниже, чем у компактных образцов, а удельная работа разрушения — выше. Была сформулирована гипотеза о том, что суммарный объем дробно-размерного слоя и границ зерен в поликристаллическом материале является постоянной величиной, а сам дробно-размерный слой является мультифракталом [15]. Полученные результаты косвенно подтверждают эту гипотезу. Стандартный и компактный образцы изготовлены из одного и того же материала и имеют одинаковый средний размер зерен. Протяженность границ зерен в стандартном образце выше, чем в компактном образце, и толщина дробно-размерного слоя должна быть

меньше, чем у компактного образца. Поэтому значения механических характеристик и удельной работы разрушения не должны совпадать. В этой связи вызывает интерес вопрос о реальной толщине мелко-размерного слоя. Фрактальные подсистемы, которые соответствуют фрактальному распределению материальных, электрических и магнитных параметров, связаны изменяются. При уменьшении толщины объекта должны меняться также магнитные и электрические свойства. Гипотетически можно утонить образец до толщины равной двум толщинам мелко-размерного слоя. В этом случае магнитные характеристики, измеряемые с двух сторон пластины, могут компенсировать друг друга. При изменении толщины пластины магнитные домены должны перестраиваться, и это можно будет измерить.

В экспериментах при утонении пластины измеряли напряженность магнитного поля, причем ее тангенциальную составляющую.

Экспериментальный образец в виде стальной пластины с геометрическими параметрами 25 x 25 x 2 мм с двух сторон был разбит на 6 одинаковых ячеек, в каждой из которых проводились измерения напряженности магнитного поля при уменьшении толщины пластины на 0,1 мм. Изменение толщины достигалось посредством стачивания одной из ее граней наждачной бумагой, при этом противоположная грань всегда оставалась неизменной. Важно отметить, что перед каждым циклом измерений шероховатость поверхности была одинаковой.

В ходе анализа полученных значений напряженности магнитного поля в каждой из шести ячеек двух противоположных граней пластины было установлено, что тангенциальная составляющая напряженности имеет убывающий полиэкстремальный характер, усреднив значения которой для каждой грани была получена зависимость, представленная на рисунке 7.

В результате линейной аппроксимации методом наименьших квадратов каждой из двух зависимостей построена биссектриса угла между прямыми приближения, которая имеет пересечение с осью толщины пластины в

точке 0,01 мм. Таким образом, предварительное значение толщины мелко-размерного слоя можно оценить величиной 0,005 мм.

Рисунок 7. Зависимость средней тангенциальной составляющей напряженности магнитного поля от толщины пластины

Авторы выражают благодарность за участие в экспериментах Абдуганиеву Марату Ришатовичу.

Выводы

1. Показано, что зависимость удельно работы разрушения стальных образцов от их толщины подчиняется логарифмическому закону в интервале толщин 0–4 мм.
2. Сравнение механических характеристик и удельной работы разрушения стали, полученных на стандартных и компактных образцах равной толщины, косвенно подтверждает гипотезу о наличии мелко-размерного поверхностного слоя, связанного с системой границ зерен в объеме материала.
3. Характер изменения тангенциальной составляющей напряженности магнитного поля при утонении образца также не противоречит гипотезе о

наличии мелко-размерного поверхностного слоя и показывает, что в первом приближении толщина мелко-размерного слоя может быть оценена в 0,005 мм.

Список используемых источников

1. Khasanov R.N., Valiev A.S., Kuzeev I.R. Assessment of Mechanical Characteristics of Steel Subject to Cyclic Loads Effect on Non-Standard Compact Specimens // MATEC Web of Conferences 224, 04025 (2018) <https://doi.org/10.1051/matecconf/201822404025>.

2. Khasanov R.N., Valiev A.S., Kuzeev I.R. Assessment of Steel Mechanical Characteristics of Non-Standard Compact Specimens under Statistical Tests // MATEC Web of Conferences 224, 03010 (2018) <https://doi.org/10.1051/matecconf/201822403010>.

3. Abdulganiev M.R., Khasanov R.N., Gafarova V.A. Determination of Specific Failure Work on Compact Steel Samples // Materials of Science Forum. 2019. Vol. 945, pp 569-573 doi:10.4028/www.scientific.net/MSF.945.569.

4. Hasanov R.N., Valieva A.S., Kuzeev I.R. Development of the Algorithm for Determination of Mechanical Properties of Steel 20 with Different Levels of Cumulative Fatigue Damage with the Application of Compact Samples // Solid State Phenomena Submitted. 2018. Vol. 284. P. 581-586. doi:10.4028/www.scientific.net/SSP.284.581

5. Zhao-Xi Wang, Hui-Ji Shi, Jian Lu, Pan Shi, Xian-Feng Ma. Nuclear Engineering and Design Small Punch Testing for Assessing the Fracture Properties of the Reactor Vessel Steel with Different Thicknesses // Nucl. Eng. Design. 2008. No. 12 (238). P. 3186-3193.

6. Hyde T.H., Sun W., Williams J.A. Requirements for and Use of Miniature Test Specimens to Provide Mechanical and Creep Properties of Materials: a Review // International Materials Reviews. July 2007. No. 52. P. 213-255.

7. Blagoeva D.T., Hurst R.C. Application of the CEN (European Committee for Standardization) Small Punch Creep Testing Code of Practice to a Representative Repair Welded p91 Pipe // Materials Science and Engineering A. 2009. P. 510-511(C), 219-223.

8. Херцберг Р.В. Деформация и механика разрушения конструкционных материалов. М.: Металлургия, 1989. 576 с.

9. Рахимкулов Р.Р. Разработка метода оценки критического коэффициента интенсивности напряжений сварного соединения из тонколистовой стали: дис. ... канд. техн. наук. Уфа, 2011. 24 с.

10. Самигуллин Г.Х. Обеспечение безопасной эксплуатации производственных сооружений нефтегазовых предприятий на основе критерия живучести: дис. ... д-ра техн. наук. Уфа, 2016. 270 с.

11. Gianola D.S., Eberl C. Micro- and Nanoscale Tensile Testing of Materials // JOM. 2009. Vol. 61. № 3. URL: www.tms.org/jom.html.

12. Chang Hee Suh, Yun-Chul Jung, Young Suk Kim. Effects of Thickness and Surface Roughness on Mechanical Properties of Aluminum Sheets // Journal of Mechanical Science and Technology. 2010. No. 24 (10). P. 2091-2098.

13. Кузеев И.Р., Наумкин Е.А., Савичева Ю.Н., Попова С.В. Поверхность и поверхностные явления. Уфа: Нефтегазовое дело, 2008. 144 с.

14. Терентьев В.Ф. Усталость металлических материалов. М.: Наука, 2003. 254 с.

15. Кузеев И.Р., Наумкин Е.А. Роль поверхности в механизмах образования и разрушения структур в системе углеводород–вода // Нефтегазовое дело. 2003. № 1. С. 365-371.

References

1. Khasanov R.N., Valiev A.S., Kuzeev I.R. Assessment of Mechanical Characteristics of Steel Subject to Cyclic Loads Effect on Non-Standard Compact Specimens. *MATEC Web of Conferences*, 224, 04025 (2018). <https://doi.org/10.1051/matecconf/201822404025>.
2. Khasanov R.N., Valiev A.S., Kuzeev I.R. Assessment of Steel Mechanical Characteristics of Non-Standard Compact Specimens under Statistical Tests. *MATEC Web of Conferences* 224, 03010 (2018). <https://doi.org/10.1051/matecconf/201822403010>.
3. Abdulganiev M.R., Khasanov R.N., Gafarova V.A. Determination of Specific Failure Work on Compact Steel Samples. *Materials of Science Forum*. 2019, Vol. 945, pp. 569-573. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.945.569>.
4. Hasanov R.N., Valieva A.S., Kuzeev I.R. Development of the Algorithm for Determination of Mechanical Properties of Steel 20 with Different Levels of Cumulative Fatigue Damage with the Application of Compact Samples. *Solid State Phenomena Submitted*, 2018, Vol. 284, pp. 581-586. [doi:10.4028/www.scientific.net/SSP.284.581](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.284.581).
5. Zhao-Xi Wang, Hui-Ji Shi, Jian Lu, Pan Shi, Xian-Feng Ma. Nuclear Engineering and Design Small Punch Testing for Assessing the Fracture Properties of the Reactor Vessel Steel with Different Thicknesses. *Nucl. Eng. Design*, 2008. No. 12 (238). P. 3186-3193.
6. Hyde T.H., Sun W., Williams J.A. Requirements for and Use of Miniature Test Specimens to Provide Mechanical and Creep Properties of Materials: a Review. *International Materials Reviews*, July 2007, No. 52, pp. 213-255.
7. Blagoeva D.T., Hurst R.C. Application of the CEN (European Committee for Standardization) Small Punch Creep Testing Code of Practice to a Representative Repair Welded p91 Pipe. *Materials Science and Engineering A*. 2009, pp. 510-511(C), 219-223.

8. Khertsberg R.V. *Deformatsiya i mekhanika razrusheniya konstruktsionnykh materialov* [Deformation and Fracture Mechanics of Structural Materials]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1989. 576 p. [in Russian].
9. Rakhimkulov R.R. *Razrabotka metoda otsenki kriticheskogo koeffitsienta intensivnosti napryazhenii svarnogo soedineniya iz tonkolistovoi stali: dis. kand. tekhn. nauk* [Development of a Method for Assessing the Critical Stress Intensity Factor of a Welded Joint from Sheet Steel. Cand. Engin. Sci. diss.]. Ufa, 2011. 24 p. [in Russian].
10. Samigullin G.Kh. *Obespechenie bezopasnoi ekspluatatsii proizvodstvennykh sooruzhenii neftegazovykh predpriyatii na osnove kriteriya zhivuchesti: dis. d-ra tekhn. nauk* [Ensuring the Safe Operation of Industrial Facilities of Oil and Gas Enterprises Based on the Criterion of Survivability. Dr. Engin. Sci. diss.]. Ufa, 2016. 270 p. [in Russian].
11. Gianola D.S., Eberl C. Micro- and Nanoscale Tensile Testing of Materials. *JOM*, 2009, Vol. 61, No. 3. URL: www.tms.org/jom.html.
12. Chang Hee Suh, Yun-Chul Jung, Young Suk Kim. Effects of Thickness and Surface Roughness on Mechanical Properties of Aluminum Sheets. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 2010, No. 24 (10), pp. 2091-2098.
13. Kuzeev I.R., Naumkin E.A., Savicheva Yu.N., Popova S.V. *Poverkhnost' i poverkhnostnye yavleniya* [Surface and Surface Phenomena]. Ufa, Neftegazovoe delo Publ., 2008. 144 p. [in Russian].
14. Terent'ev V.F. *Ustalost' metallicheskih materialov* [Metallic Materials Fatigue]. Moscow, Nauka Publ., 2003. 254 p. [in Russian].
15. Kuzeev I.R., Naumkin E.A. Rol' poverkhnosti v mekhanizmax obrazovaniya i razrusheniya struktur v sisteme uglevodorod-voda [Role of Surface in the Structure Formation and Fracture Mechanisms of the Hydrocarbon-Water System]. *Neftegazovoe delo – Petroleum Engineering*, 2003, No. 1, pp. 365-371. [in Russian].

Сведения об авторах

About the authors

Хасанов Рим Наилевич, соискатель кафедры «Технологические машины и оборудование», УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Rim N. Khasanov, External Doctoral Candidate of Technological Machines and Equipment Department, USPTU, Ufa, Russian Federation

e-mail: hasanov_rim@mail.ru

Гафарова Виктория Александровна, преподаватель кафедры «Технологические машины и оборудование», УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Victoria A. Gafarova, Lecturer of Technological Machines and Equipment Department, USPTU, Ufa, Russian Federation

e-mail: gafarova.vika@bk.ru

Пивоваров Валерий Юрьевич, ассистент кафедры «Технологические машины и оборудование», УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Valeriy Yu. Pivovarov, Assistant of Technological Machines and Equipment Department, USPTU, Ufa, Russian Federation

e-mail: varga-13@yandex.ru

Кузеев Искандер Рустемович, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Технологические машины и оборудование», УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Iskander R. Kuzeev, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of Technological Machines and Equipment Department, USPTU, Ufa, Russian Federation

e-mail: kuzeev2002@mail.ru