

УДК 621.642.3

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ ЗОН
РАЗРУШЕНИЯ В УТОРНОМ УЗЛЕ ЭКСПЛУАТИРУЮЩЕГОСЯ
СТАЛЬНОГО ВЕРТИКАЛЬНОГО РЕЗЕРВУАРА**

**DETERMINATION OF THE POTENTIALLY DANGEROUS
DESTRUCTION ZONES IN THE CIRCUMFERENCE WELD
OF THE OPERATING STEEL VERTICAL TANK**

**А.С. Романчук, А.М. Файрушин, Н.А. Елышев, К.Д. Вержбицкий,
Р.Р. Исмагилова**

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

ООО «ИЦ-НК», г. Уфа, Российская Федерация

ЗАО «НПО «Ленкор», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

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

**Anastasiya S. Romanchuk, Airat M. Fairushin, Nail A. Elyshev,
Kirill D. Verzhbitskii, Regina R. Ismagilova**

Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russian Federation

EC-NDT LLC, Ufa, Russian Federation

NPO «Lenkor» JSC, Saint-Petersburg, Russian Federation

Ufa State Aviation Technical University, Ufa, Russian Federation

e-mail: rushaniya_romanchuk@mail.ru

Аннотация. В данной работе рассматриваются актуальные вопросы определения потенциально опасных зон в уторном узле эксплуатируемого вертикального стального резервуара. Долговечность данного узла во многом определяется точностью его изготовления.

Отличительной особенностью уторного узла является наличие конструктивного зазора между стенкой и окрайкой, который, по данным нормативно-технической документации, не должен превышать 2 мм. Замеры величины зазора, проведенные на реальных объектах перед сваркой уторного шва, показали, что длина участков с завышенными зазорами достигает до 7 % от общей площади сопряжения стенки и окрайки. Причем величина зазора на некоторых участках превышала допустимый в несколько раз.

Проведенные исследования в данной области показали, что ресурс работы уторного узла уменьшается с увеличением величины зазора между стенкой и окрайкой.

Методы повышения прочности данного узла предложены авторами в других статьях, однако возникает проблема определения точного местоположения участков с завышенными зазорами. На строящихся резервуарах (до заварки уторного шва) определение локализации и замер величины зазора между стенкой и окрайкой не составит особого труда. Для уже построенных, эксплуатируемых резервуаров на сегодняшний день не предложена методика определения величины зазора в уторном узле.

В данной статье авторами предлагается способ замера величины зазора между стенкой и окрайкой в действующем резервуаре, с целью контроля его на соответствие требованиям нормативно-технической документации и определения потенциально опасных зон разрушения в уторном узле.

Abstract. This paper discusses current issues in identifying potentially hazardous areas in the circumference weld of a steel vertical tank in operation. The durability of this site is largely determined by the accuracy of its manufacture.

A distinctive feature of the circumference weld is the presence of a constructive gap between the wall and the edge, which, according to the specifications and technical documentation, should not exceed 2 mm. Measurements of the size of the gap, carried out on real objects before welding

the circumference weld, showed that the length of the sections with excessive gaps reaches up to 7% of the total area of the interface between the wall and the edge. Moreover, the size of the gap in some areas exceeded the permissible by several times.

Conducted research in this area showed that the resource of operation of the circumference weld decreases with increasing gap between the wall and edge.

Methods to increase the strength of this weld proposed by the authors in other articles, however, the problem arises of determining the exact location of areas with high gaps. In tanks under construction (before the welding of the circumference weld), determining the localization and measuring the gap between the wall and the edge will not be difficult. For the already constructed, operated tanks today, there is no proposed method for determining the size of the gap in circumference node.

In this article, the authors propose a method for measuring the size of the gap between the wall and the edge in the existing tank, in order to control it for compliance with the requirements of the normative-technical documentation and to determine potentially dangerous fracture zones in the circumference node.

Ключевые слова: резервуар, уторный узел, краечные листы, технологический непровар, зазор, сварочные напряжения, сварочные деформации

Key words: tank, circumference weld, edge sheets, underrun, gap, welding stress, welding deformations

Резервуар представляет собой герметично закрываемый или открытый стационарный сосуд, наполняемый жидким или газообразным веществом. Резервуары являются наиболее ответственными сооружениями технологических установок добычи, переработки, хранения и транспортировки нефти и нефтепродуктов.

Вертикальные цилиндрические резервуары представляют собой опасные производственные объекты, аварии на которых могут привести к серьёзному экономическому и экологическому ущербу. В связи с этим вопросам безопасной эксплуатации резервуаров на сегодняшний день уделяется достаточно большое внимание [1-5].

Уторный узел является одним из наиболее ответственных элементов резервуара, так как он работает в условиях сложного напряженно-деформированного состояния. Отличительной особенностью уторного узла является наличие конструктивного зазора между стенкой и окрайкой, который, по данным нормативно-технической документации, не должен превышать 2 мм [6, 7].

Данный регламентированный зазор усложняет процесс монтажа стенки, так как возникает необходимость в соблюдении величины данного зазора на требуемом уровне. Замеры величины зазора, проведенные на реальных объектах перед сваркой уторного шва, показали, что длина участков с завышенными зазорами достигает до 7 % от общей площади сопряжения стенки и окрайки. Причем величина зазора на некоторых участках превышала допустимый в несколько раз [8].

Проблеме определения ресурса работы уторного узла и повышения его прочности посвящены работы многих исследователей [4, 6-10]. Проведенные исследования в данной области показали, что с увеличением величины зазора между стенкой и окрайкой ресурс работы уторного узла уменьшается [7].

До проведения сварочных работ измерить величину зазора в уторном узле возможно с помощью специальных щупов универсального шаблона сварщика (УШС), штангенциркуля, линейки. Что же касается эксплуатируемых резервуаров, на сегодняшний день нет методики определения величины зазора в уторном узле уже построенного резервуара. В связи со всем вышеизложенным вопрос замера величины зазора после заварки уторного шва является актуальным.

На сегодняшний день известны различные способы неразрушающего контроля сварных узлов. Уторный узел проверяется капиллярно-проникающими веществами и вакуумированием с целью контроля герметичности. Данные методы не дают информации о величине зазора в данном узле. Также известны методы просвечивания рентгеном и магнитопорошковый, но в связи с наличием двух сварных швов и конструктивного зазора между ними, они также не дадут точной оценки зазора в данном узле. Радиографический контроль не выявляет дефекты, плоскость раскрытия которых не совпадает с направлением просвечивания.

В связи с этим нами предлагается проводить контроль данного узла с помощью ультразвукового дефектоскопа и измерительного инструмента. Нами разработана следующая методика определения величины зазора:

на поверхность стенки резервуара, предварительно нанеся на неё контактную жидкость, на расстоянии равном примерно $1,5S \times \operatorname{tg}\alpha$ от края валика усиления шва устанавливается пьезоэлектрический преобразователь (ПЭП) (для исследования применялся ПЭП с углом ввода $\alpha = 65^\circ$). Определяется максимальный сигнал от зазора в уторном шве и фиксируется координата «х» (рисунок 1);

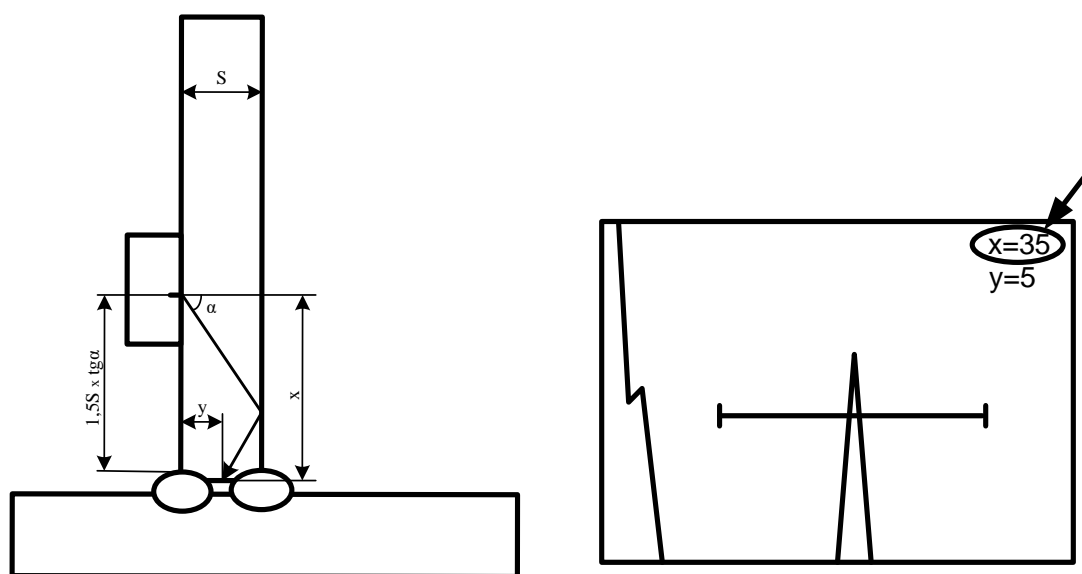


Рисунок 1. Определение координаты х

1) не изменяя положения ПЭП, удаляется контактная жидкость с поверхности стенки резервуара и наносится отметка на уровне точки выхода луча ПЭП (рисунок 2);

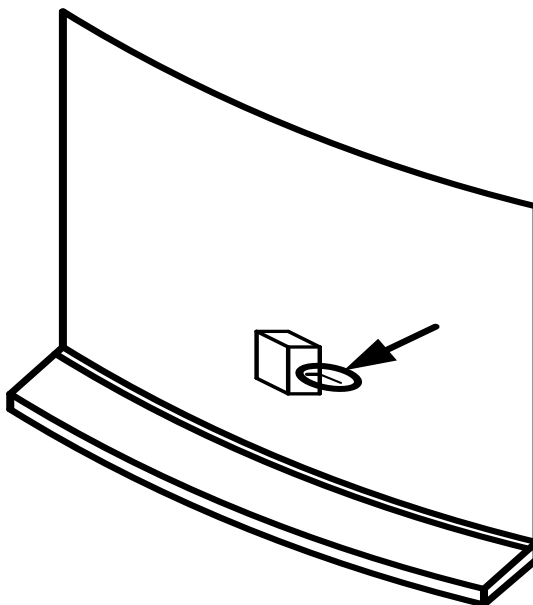


Рисунок 2. Нанесение отсчетной отметки

2) используя измерительный инструмент (штангенциркуль), определяется расстояние x_1 от отметки до окрайки резервуара по вертикали (рисунок 3);

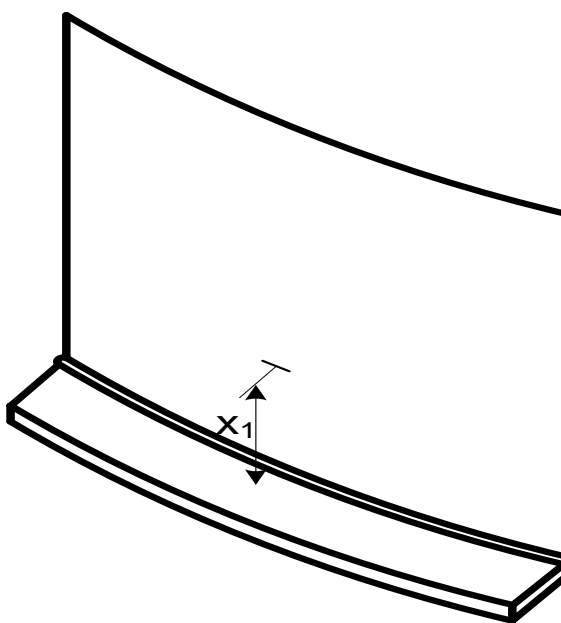


Рисунок 3. Определение расстояния x_1

3) величина зазора в уторном шве определяется как разность между полученными значениями:

$$\Delta x = x_1 - x.$$

Наличие возможности настройки «стрелы» ПЭП поможет упростить замеры, т.к. точкой отсчета будет не точка выхода луча, а передний торец датчика. Данная настройка проводится на стандартном образце СО-3.

Общая погрешность данного метода складывается из:

- погрешности показаний глубиномера ультразвукового дефектоскопа (для её снижения необходимо применять образец для настройки глубиномера, выполненный из материала, идентичного по акустическим свойствам материалу стенки РВС; проводить настройку прибора при температуре контроля);

- погрешности при нанесении производителем ПЭП точки выхода луча (для снижения необходимо проверить её и учесть);

- погрешности при нанесении отметки на стенку резервуара (для снижения необходимо точно наносить отметку на стенку резервуара, отметка должна быть тонкой);

- погрешности при измерении расстояния (для снижения необходимо использовать оптимальный для данного способа измерительный инструмент: штангенциркуль, а также угольник для соблюдения вертикальности; либо использовать универсальный измерительный инструмент).

Практический замер величины зазора по предложенной методике на образце из стали 09Г2С, толщиной 10 мм, с величиной зазора в уторном узле от 3 до 5 мм показан на рисунках 4, 5.

Определение координаты x с помощью пьезоэлектрического преобразователя представлено на рисунке 4.

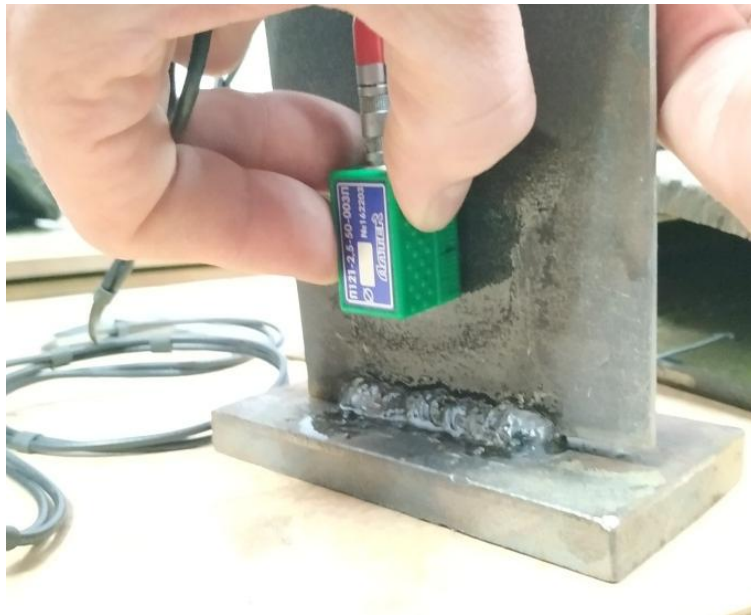


Рисунок 4. Определение координаты x

Далее проведем замер расстояния x_1 с помощью штангенциркуля от отметки до окраечного листа (рисунок 5).



Рисунок 5. Замер расстояния x_1

В результате проведенных замеров на экспериментальных образцах получены данные, представленные в таблице 1.

Таблица 1. Результаты замеров

Фактический зазор в уторе, мм	Значение x , мм	Значение x_1 , мм	Δx , мм	Относительная погрешность, %
3	33,43	36,75	3,32	9,6
4	32,17	36,63	4,46	10,3
5	32,21	37,55	5,34	6,3

Контролировать данным способом предлагается уторный шов резервуара в участках, наиболее вероятных к возникновению завышенных зазоров, таких как места врезки штуцеров и нижних люков, вертикальные стыковые соединения на стенке резервуара, сварные швы уторного узла с возникающими дефектами.

Выводы

В данной работе с целью выявления дефектных участков и для последующего их укрепления предложена методика замера величины зазора в уторном узле стального вертикального резервуара с помощью ультразвукового дефектоскопа и штангенциркуля.

Проведенные практические замеры зазора в образце уторного узла по предложенной методике показали возможность определения потенциально опасных зон разрушения уторного узла действующего резервуара, при этом погрешность определения зазора не превышала 10,3 %.

Список используемых источников

1. Швырков С.А., Батманов С.В. Анализ последствий чрезвычайных ситуаций при разрушениях резервуаров на объектах топливно-энергетического комплекса // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2008. № 4. С. 2-8.

2. Самигуллин Г.Х., Герасименко А.А. К вопросу о методике расчета остаточного ресурса резервуаров с трещиноподобными дефектами. URL: http://ogbus.ru/authors/Samigullin/Samigullin_5.pdf (дата обращения: 18.02.2019).

3. Кондрашова О.Г., Назарова М.Н. Причинно-следственный анализ аварий вертикальных стальных резервуаров. URL: http://ogbus.ru/files/ogbus/authors/Kondrashova/Kondrashova_1.pdf (дата обращения: 18.02.2019).

4. Семин Е.Е. Оценка долговечности уторных узлов вертикальных стальных резервуаров в процессе эксплуатации: дисс. ... канд. техн. наук. М.: РГУ нефти и газа им. Губкина, 2012. 145 с.

5. Чепур П.В., Тарасенко А.А., Тарасенко Д.А. Исследование влияния величины выступа окрайки на напряженно-деформированное состояние вертикального стального цилиндрического резервуара при развитии неравномерной осадки наружного контура днища // Фундаментальные исследования. 2013. № 10-15. С. 3441-3445.

6. Руководство по безопасности вертикальных цилиндрических стальных резервуаров для нефти и нефтепродуктов / Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности, 2013. Сер. 03. Вып. 69. 240 с.

7. Скорняков А.А., Зарипов М.З., Карпов А.Л., Вержбицкий К.Д. Исследование конструктивных элементов уторного шва резервуаров // Нефтегазовое дело. 2014. Т. 12. № 4. С. 157-161.

8. Валеев Н.Н., Романчук А.С., Вержбицкий К.Д., Чернятьева Р.Р., Князев В.А. Совершенствование технологии изготовления уторного узла вертикального стального резервуара. URL: http://ogbus.ru/files/ogbus/issues/6_2017/ogbus_6_2017_p57-75_ValeevNN_ru.pdf (дата обращения: 18.02.2019).

9. Файрушин А.М., Валеев Н.Н., Романчук А.С., Биккинин А.И., Ямилев М.З. Модернизация уторного узла стального вертикального резервуара // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. 2016. № 2. С. 18-21.

10. Файрушин А.М., Четверткова О.В., Ямилев М.З., Биккинин А.И. Совершенствование технологии изготовления уторного узла стального вертикального резервуара // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. 2016. № 6 (26). С. 84-87.

References

1. Shvyirkov S.A., Batmanov S.V. Analiz posledstviy chrezvyichaynyih situatsiy pri razrusheniyah rezervuarov na ob"ektah toplivno-energeticheskogo kompleksa [Analysis of the Consequences of Emergency Situations in the Destruction of Tanks at the Facilities of the Fuel and Energy Complex]. *Zaschita okruzhayushey sredy v neftegazovom komplekse – Environmental Protection in Oil and Gas Complex*, 2008, No. 4, pp. 2-8. [in Russian].

2. Samigullin G.H., Gerasimenko A.A. *K voprosu o metodike rascheta ostatochnogo resursa rezervuarov s treschinopodobnyimi defektami* [Revisited the Method of Calculation of Residual Life of Tank with Crack-Like Defects]. Available at: http://ogbus.ru/authors/Samigullin/Samigullin_5.pdf (accessed 18.02.2019). [in Russian].

3. Kondrashova O.G., Nazarova M.N. *Prichinno-sledstvennyiy analiz aviariy vertikal'nykh stal'nykh rezervuarov* [Causal Analysis of Accidents of Vertical Steel Tanks]. Available at: http://ogbus.ru/files/ogbus/authors/Kondrashova/Kondrashova_1.pdf (accessed 18.02.2019). [in Russian].

4. Semin E.E. *Otsenka dolgovechnosti utornykh uzlov vertikal'nykh stal'nykh rezervuarov v protsesse ekspluatatsii: diss. ... kand. tehn. nauk* [Evaluation of the Durability of the Rotor Assemblies of Vertical Steel Tanks During Operation: Cand. Engin. Sci. Diss.] M., Gubkin University National University of Oil and Gas, 2012. 145 p. [in Russian].

5. Chepur P.V., Tarasenko A.A., Tarasenko D.A. Issledovanie vliyaniya velichiny vyistupa okrayki na napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie vertikal'nogo stal'nogo tsilindricheskogo rezervuara pri razvitii neravnomernoy osadki naruzhnogo kontura dnischa [Study of the Influence of the Size of the Ridge on the Stress-Strain State of the Vertical Steel Cylindrical Tank with the Development of Uneven Precipitation of the Outer Contour of the Bottom]. *Fundamental'nye issledovaniya – Fundamental Research*, 2013, No. 10-15, pp. 3441-3445. [in Russian].

6. *Rukovodstvo po bezopasnosti vertikal'nykh tsilindricheskih stal'nykh rezervuarov dlya nefti i nefteproduktov* [Safety Guide for Vertical Cylindrical Steel Tanks for Oil and Petroleum Products]. Scientific Technical Center of Industrial Safety Problems Research, 2013, Series 03. Issue 69. 240 p. [in Russian].

7. Skorniyakov A. A., Zaripov M.Z., Karpov A.L., Verzhbitskiy K.D. Issledovanie konstruktivnykh elementov utornogo shva rezervuarov [The Study of Structural Elements Rim Weld Reservoirs]. *Neftegazovoe delo – Petroleum Engineering*, 2014, Vol. 12, No. 4. pp. 157-161. [in Russian].

8. Valeev N.N., Romanchuk A.S., Verzhbitskiy K.D., Chernyatyeva R.R., Knyazev V.A. *Sovershenstvovanie tekhnologii izgotovleniya utornogo uzla vertikal'nogo stal'nogo rezervuara* [Improvement of Manufacturing Technology of the Rim Weld of a Vertical Steel Tank]. Available at: http://ogbus.ru/files/ogbus/issues/6_2017/ogbus_6_2017_p57-75_ValeevNN_ru.pdf (data obrashcheniya: 18.02.2019). [in Russian].

9. Fayrushin A.M., Valeev N.N., Romanchuk A.S., Bikkinin A.I., Yamilev M.Z. Modernizatsiya utornogo uzla stal'nogo vertikal'nogo rezervuara [Modernization Rim Site Steel Vertical Tank]. *Transport i hranenie nefteproduktov i uglevodorodnogo syr'ya – THNP*, 2016, No. 2, pp. 18-21. [in Russian].

10. Fayrushin A.M., Chetvertkova O.V., Yamilev M.Z., Bikkinin A.I. Sovershenstvovanie tehnologii izgotovleniya utornogo uzla stal'nogo vertikal'nogo rezervuara [An Improvement in Corner Weld Joint of Vertical Steel Tank Manufacturing Technology]. *Nauka i tehnologii truboprovodnogo transporta nefti i nefteproduktov – Science & Technologies: Oil and Oil Products Pipeline Transportation*, 2016, No. 6(26), pp. 84-87. [in Russian].

Сведения об авторах

About the authors

Романчук Анастасия Сергеевна, магистрант кафедры «Технология нефтяного аппаратостроения», УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Anastasiya S. Romanchuk, Undergraduate Student of Oil Processing Equipment Technology Department, USPTU, Ufa, Russian Federation

e-mail: rushaniya_romanchuk@mail.ru

Файрушин Айрат Миннуллович, канд. техн. наук, доцент кафедры «Технология нефтяного аппаратостроения», УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Airat M. Fairushin, Candidate of Engineering Sciences, Assistant Professor of Oil Processing Equipment Technology Department, USPTU, Ufa, Russian Federation

e-mail: tna_ugntu@mail.ru

Елышев Наиль Адикович, главный инженер ООО «ИЦ-НК», г. Уфа, Российская Федерация

Nail A. Elyshev, Chief Engineer, EC-NDT LLC, Ufa, Russian Federation

e-mail: noodles5@yandex.ru

Вержбицкий Кирилл Дмитриевич, инженер, ЗАО «НПО «Ленкор»,
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Kirill D. Verzhbitskii, Engineer, NPO «Lenkor» JSC, Saint-Petersburg,
Russian Federation

e-mail: iqencounter@gmail.com

Исмагилова Регина Разитовна, студент кафедры технической
кибернетики, УГАТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Regina R. Ismagilova, Student of Engineering Cybernetics Department,
USATU, Ufa, Russian Federation

e-mail: ismagilova_regina@mail.ru