

УДК 621.436.038

**МИНИМИЗАЦИЯ УТЕЧЕК ТОПЛИВА В ИЗНОШЕННЫХ ПЛУНЖЕРНЫХ ПАРАХ СМЕЩЕНИЕМ ЗОН ИЗНОСА****Гаврилов В.Н., Новиков А.М., Семенов А.В., Иванов В. А.**

**Реферат.** Наиболее распространенной причиной потери работоспособности плунжерных пар топливного насоса высокого давления (ТНВД) автотракторных дизелей является снижение максимального развиваемого давления и цикловой подачи из-за износа деталей. Расположение зон износа обусловлено прежде всего особенностями организации цикла топливоподачи насоса. В ТНВД распределительного типа, где за один оборот кулачкового вала насоса плунжер совершает несколько нагнетательных ходов и один оборот вокруг своей оси (распределение топлива), существует несколько участков локальных зон износа: два участка во втулке выше наполнительных окон и шесть участков приблизительно одинаковой формы и размеров на торце плунжера. При совмещении зон износа в процессе топливоподачи возникают местные каналы, являющиеся основным источником утечек топлива, и соответственно, причиной снижения давления и цикловой подачи. Анализ характера расположения участков износа во втулке и на плунжере позволяет сделать предположение о возможности смещения участков локального износа при изменении функционального назначения изношенной плунжерной пары распределительного ТНВД. При исключении распределительной функции плунжера он может быть зафиксирован в любом угловом положении относительно втулки, что обеспечивает смещение зон износа, и следовательно, уменьшение утечек топлива. В работе, путем моделирования различных угловых положений плунжера относительно втулки, определены параметры местных каналов, образованных участками локального износа, рассчитаны возможные значения утечек топлива через эти каналы, найдены оптимальные углы поворота плунжера, обеспечивающего минимальные утечки топлива. Оптимальными значениями углового положения плунжера являются  $30^\circ$ ,  $150^\circ$  и  $270^\circ$  относительно начального, расчетное значение снижения утечек топлива при этом составляет 82%.

**Ключевые слова:** плунжерная пара; локальные участки износа; утечки топлива; гидравлические характеристики.

**Введение.** Надежность дизельной топливной аппаратуры в значительной мере определяется потенциалом работоспособности плунжерной пары топливного насоса высокого давления [1].

Техническое состояние плунжерных пар оценивается рядом показателей, среди которых чаще всего используют величину цикловой подачи топлива, максимально развиваемую давление и т.д. [2]. В процессе эксплуатации эти показатели снижаются в основном из-за возникновения локальных участков износа на плунжере и втулке, способствующих увеличению объемных потерь топлива за счет разности давлений в рабочей и нерабочей полостях [3]. Изнашивание втулки и плунжера ТНВД распределительного типа происходит на локальных участках, как правило, в зонах нагнетательных, впускных, распределительных и отсечных отверстий и каналов. Из-за особенностей организации цикла топливоподачи распределительных ТНВД участки износа во втулке и на плунжере при нагнетании топлива совмещаются, что приводит к возникновению местных каналов, являющихся основным источником утечек топлива [4]. Изучение характера расположения участков износа во втулке и на плунжере позволяет сделать предположение о возможности уменьшения утечек топлива через участки локального из-

носа за счет изменения углового положения плунжера.

Целью работы является определение относительного углового положения изношенных втулки и плунжера распределительного ТНВД, обеспечивающего минимальные утечки топлива, при которых возможно использование остаточного ресурса плунжерной пары при изменении первоначальных функций плунжерной пары.

**Условия, материалы и методы исследований.** Исследовательская работа выполнена в соответствии с планом НИОКР ФГБОУ ВО «Чувашская ГСХА» и согласовывается с положением «Стратегии социально-экономического развития агропромышленного комплекса Российской Федерации на период до 2020года». Для решения поставленных целей были проведены исследования в 2018-2019 гг., результаты используются в учебном процессе.

Объектом исследования являются результаты определения мест расположения и величины износа втулки и плунжера распределительного ТНВД. В работе путем моделирования различных угловых положений плунжера относительно втулки определены параметры местных каналов, образованных участками локального износа, рассчитаны возможные значения утечек топлива через эти каналы,

найлены оптимальные углы поворота плунжера, обеспечивающего минимальные утечки топлива.

**Анализ и осуждение результатов.** Характер изнашивания деталей плунжерной пары ТНВД распределительного типа определяется циклом топливоподачи: за один оборот кулачкового вала насоса плунжер совершает несколько нагнетательных ходов и один оборот вокруг своей оси (распределение топлива по штуцерам). Исследованиями износа деталей трехштуцерной плунжерной пары ТНВД НД-22/6 [5, 8] выявлены следующие участки расположения локальных зон износа: во втулке два участка выше наполнительных окон, на плунжере – шесть участков приблизительно одинаковой формы и размеров на торце (рисунок 1).

Геометрические параметры участков износа определяются по следующим формулам:

- длина дуги участка износа во втулке:

$$l_e = \frac{\pi \cdot (d + \delta_e) \cdot \varphi_e}{360}; \quad (1)$$

- длина дуги участка износа во втулке:

$$l_n = \frac{\pi \cdot (d - \delta_n) \cdot \varphi_n}{360}; \quad (2)$$

- площадь участка износа во втулке:

$$F_b = \frac{\pi \cdot \varphi_b}{360} \cdot \left[ \left( \frac{d + \delta_b}{2} \right)^2 - \left( \frac{d}{2} \right)^2 \right] = \frac{\pi \cdot \varphi_b \cdot \delta_b}{360} \cdot (d + \delta_b); \quad (3)$$

- площадь участка износа на плунжере:

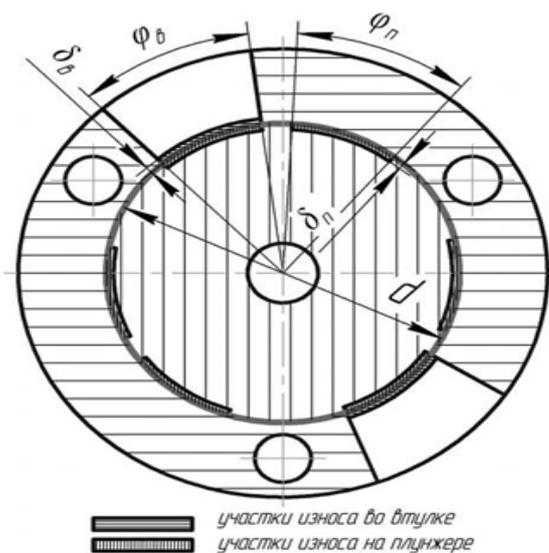


Рисунок 1 – Расположения участков износа на деталях трехштуцерной плунжерной пары распределительного ТНВД НД-22/6; d–диаметр плунжера;

$\delta_b$  – величина износа во втулке;

$\delta_n$  – величина износа на плунжере;  $\varphi_b$  – угол длины участка износа во втулке;  $\varphi_n$  – угол длины участка износа на плунжере

$$F_n = \frac{\pi \cdot \varphi_n}{360} \cdot \left[ \left( \frac{d}{2} \right)^2 - \left( \frac{d - \delta_n}{2} \right)^2 \right] = \frac{\pi \cdot \varphi_n \cdot \delta_n}{360} \cdot (d + \delta_n); \quad (4)$$

- площадь совмещенного участка износов во втулке и на плунжере:

$$F_c = \frac{\pi \cdot \varphi_c}{360} \cdot \left[ \left( \frac{d + \delta_b}{2} \right)^2 - \left( \frac{d}{2} \right)^2 \right] + \left[ \left( \frac{d}{2} \right)^2 - \left( \frac{d - \delta_n}{2} \right)^2 \right] = \frac{\pi \cdot \varphi_c}{360} \cdot (d \cdot (\delta_b + \delta_n) + \delta_b^2 - \delta_n^2); \quad (5)$$

В исходном положении плунжера в момент начала нагнетания образуются два канала утечек топлива, образованных совмещенными участками износа во втулке и на плунжере (рис. 1). При изменении углового положения плунжера количество и размеры каналов утечек меняются. Для определения геометрических параметров каналов утечек топлива были смоделированы различные угловые положения плунжера относительно втулки [6, 9]. Шаг углов поворота был принят равным  $15^\circ$ , что объясняется характеристиками механизма поворота плунжера ТНВД НД-22/6. Схема расчета геометрических параметров местных каналов приводится на рисунок 2.

При угловом положении плунжера  $\alpha = 15^\circ$  в плунжерной паре образуются 5 каналов утечек топлива (рис.2): три совмещенных канала площадью  $F_{c1}$ ,  $F_{c2}$ ,  $F_{c3}$  и два канала  $F_{b1}$  и  $F_{b2}$ , образованных участками износа во втулке. Для относительной характеристики геометрических параметров местных каналов утечек топлива при различных угловых положениях плунжера было использовано отношение площадей  $F_c$ ,  $F_b$  и  $F_p$  к сумме этих площадей  $\sum F_i$ . В расчетах значения величины износов были приняты равными средним значениям, установленным при измерениях [6]:  $\delta_b = 0,007$  мм;  $\delta_n = 0,005$  мм.

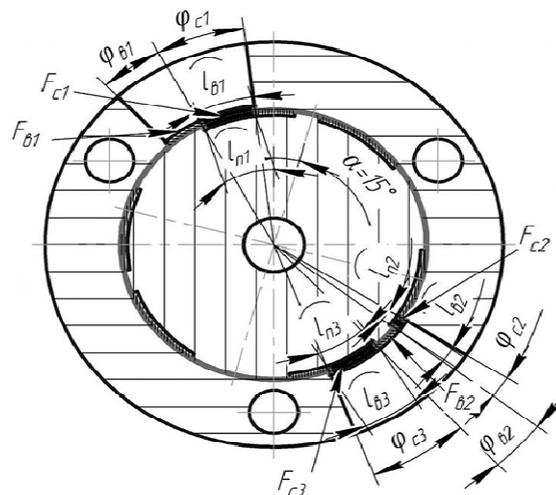


Рисунок 2 – Схема определения геометрических параметров местных каналов утечек при повороте плунжера на угол  $\alpha = 15^\circ$

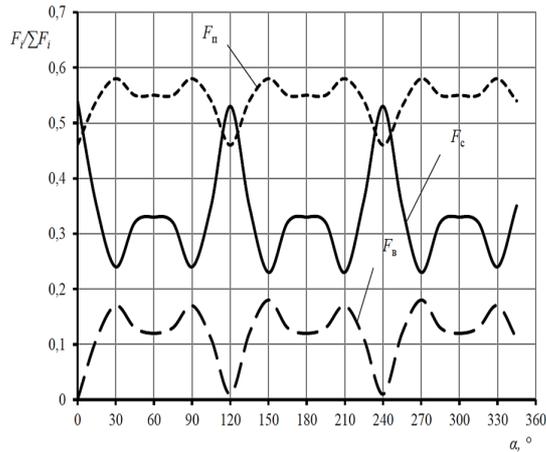


Рисунок 3 – Отношение площадей каналов участков износа  $F_i$  к суммарной площади износа  $\sum F_i$  при различных угловых положениях плунжера  $\alpha$

Для остальных угловых положений плунжера расчеты проводились по аналогичной схеме. Результаты расчета площадей представлены на рисунке 3.

Утечки топлива в зазорах, образованных участками износа, происходят под действием перепада давления при движении стенок канала. Суммарные утечки топлива через изношенные участки в плунжерной паре могут быть определены по формуле:

$$\Delta V = \sum_{i=1}^n \Delta V_i, \quad (6)$$

где  $\Delta V_i$  – утечки топлива через отдельный канал;

$n$  – количество каналов утечек.

Величина утечек топлива через отдельный кольцевой канал определяется по формуле Гагена-Пуазейля [7]:

$$\Delta V = \frac{\pi \cdot d \cdot s^3 \cdot \Delta P \cdot t}{12 \cdot \mu \cdot h}, \quad (7)$$

где  $s$  – зазор в плунжерной паре;

$\Delta P$  – разность давлений топлива в рабочей и нерабочей полостях;

$t$  – время;

$\mu$  – динамическая вязкость топлива;

$h$  – длина сопряжения, мм.

Для отдельных изношенных участков кольцевого зазора величина утечек равна:

$$\Delta V_i = \frac{\pi \cdot d \cdot \Delta P \cdot t \cdot \varphi_i \cdot (\delta_B + \delta_{II})^3}{12 \cdot \mu \cdot h \cdot 360^\circ}, \quad (8)$$

где  $\varphi_i$  – угол расположения изношенного участка.

Для определения углового положения плунжера, при котором обеспечиваются минимальные суммарные утечки топлива, были

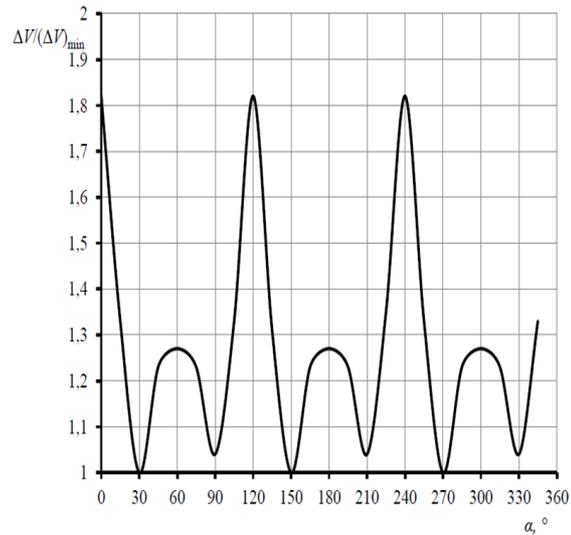


Рисунок 4 – Отношение суммарных утечек топлива  $\Delta V$  при различных угловых положениях плунжера  $\alpha$  к минимальному значению суммарных утечек  $\Delta V_{\min}$

рассчитаны параметры местных каналов, образованных участками локального износа, определены возможные значения утечек топлива через эти каналы при различных углах поворота плунжера (рисунок 4).

В качестве оценочного показателя для характеристики утечек топлива в изношенной плунжерной паре было принято отношение суммарных утечек топлива  $\Delta V$  при различных угловых положениях плунжера  $\alpha$  к минимальному значению суммарных утечек  $\Delta V_{\min}$ .

Результаты моделирования и расчетов показывают: оптимальными значениями углового положения плунжера являются  $30^\circ$ ,  $150^\circ$  и  $270^\circ$  относительно начального, расчетное значение снижения утечек топлива при этом составляет 82 %.

**Выводы.** 1. Изношенные плунжерные пары ТНВД распределительного типа могут быть использованы после достижения предельного состояния при изменении функционального назначения, а именно при сохранении только нагнетательной функции, что обеспечивает дополнительное использование заложенной в конструкции плунжерной пары потенциала работоспособности.

2. Оптимальными значениями углового положения плунжера относительно втулки ТНВД НД-22/6, обеспечивающего минимальные утечки в изношенной плунжерной паре при нагнетании топлива являются  $30^\circ$ ,  $150^\circ$  и  $270^\circ$  относительно начального положения.

3. Расчетное значение снижения утечек топлива при указанных угловых положениях плунжера составляет 82 %.

Литература

1. Казаков, Ю. Ф. Аналитическая оценка технического состояния плунжерных пар при комплектации их по гидроплотности / Ю. Ф. Казаков, В. А. Иванов // Вестник Казанского ГАУ. – 2018. – № 1 (48). – С.138-142.
2. Иванов, В.А. Разработка способа доиспользования плунжерных пар топливного насоса высокого давления распределительного типа дизеля / В. А. Иванов, В. Г. Лебедев. –Международный технико-экономический журнал. –2017. – № 1. – С. 74-77.
3. Лебедев, В.Г., Иванов, В.А. Способ утилизации плунжерной пары топливного насоса высокого давления распределительного типа / В.Г Лебедев, В.А. Иванов // Международный научный журнал, – 2017. – №2. – С. 78-80.
4. Доброхотов Ю.Н., Анализ влияния формы обратного клапана на процесс топливоподачи в насосах распределительного типа/ Ю.Н. Доброхотов, Ю.В. Иванчиков, А.Р. Валиев, Р.В. Андреев, Н.Н. Пушкаренко// Вестник Казанского ГАУ. – 2019. – Т. 14. – № 2 (53). – С. 88-94.
5. Доброхотов Ю.Н., Повышение точности регулирования производительности насосных секций топливного насоса распределительного типа / Ю.Н. Доброхотов, Ю.В. Иванчиков, А.Р. Валиев, А.О. Васильев// Вестник Казанского ГАУ. – 2019. – Т. 14. – № 1 (52). – С. 77-82.
6. Иванов, В. А. Повышение долговечности распределительных топливных насосов высокого давления путем модернизации: автореф. ... канд. тех. наук / В. А. Иванов. –М.: Всерос. науч.-исслед. технолог. ин-т ремонта и эксплуатации машинно-тракторного парка, 2011. – 16 с.
7. Башта, Т.М. Объемные насосы гидравлические двигатели гидросистем / Т.М. Башта. – М.: Машиностроение, 1974. – 606 с.
8. Поливаев О.И., Костиков О.М., Ворохобин А.В., Ведринский О.С. Конструкция тракторов и автомобилей: Учебное пособие / Под общ. ред. проф. О.И. Полиеваева. – СПб.: Издательство «Лань», 2013. – 288с.
9. Теоретические предпосылки повышения эффективности использования плунжерных пар самоходных сельскохозяйственных машин Белов В.В., и др. Известия Международной академии аграрного образования. 2019. № 45. С. 14-19.

**Сведения об авторах:**

Гаврилов Владислав Николаевич – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, e-mail: Gavrilov-vlad21@yandex.ru

Новиков Алексей Михайлович – кандидат технических наук, доцент, e-mail: novam1@mail.ru

Семенов Александр Валерьевич – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, e-mail: s.alexander2011@yandex.ru

Иванов Владимир Андреевич – кандидат технических наук, доцент, e-mail: Vladimir21VA@mail.ru  
ФГБОУ ВО «Чувашская государственная сельскохозяйственная академия», г. Чебоксары, Чувашская Республика, Россия.

**MINIMIZATION OF FUEL LEAKS IN WASTE PLUNGER ELEMENTS BY DISPLACEMENT OF WEAR ZONES**

**Gavrilov V.N., Novikov A.M., Semenov A.V., Ivanov V.A.**

**Abstract.** The most common reason for the loss of operability of plunger elements of a high-pressure fuel pump of automotive diesel engines is a decrease in the maximum developed pressure and feed cycle due to wear of parts. The location of the wear zones is primarily due to the peculiarities of the fuel supply cycle organization of the pump. In the injection pump of the distribution type, where the plunger makes several injection strokes and one revolution around its axis (fuel distribution) in one revolution of the camshaft of the pump, there are several sections of local wear zones: two sections in the sleeve above the filling windows and six sections of approximately the same shape and size at the end of the plunger. When combining wear zones, in the process of fuel supply, local canals arise, which are the main source of fuel leaks, and, accordingly, the cause of pressure reduction and cyclic supply. An analysis of the nature of the location of the wear sections in the sleeve and on the plunger allows us to make an assumption about the possibility of displacement of local wear sections when changing the functional purpose of a worn plunger pair of a distribution injection pump. With the exclusion of the distribution function of the plunger, it can be fixed in any angular position relative to the sleeve, which provides a shift in the wear zones, and consequently, a reduction in fuel leaks. In the work, by modeling various angular positions of the plunger relative to the sleeve, the parameters of the local canals formed by the areas of local wear are determined, the possible values of fuel leaks through these channels are calculated, the optimal angles of rotation of the plunger, which ensure minimal fuel leakage, are found. The optimal values of the angular position of the plunger are 30°, 150° and 270° relative to the initial one; the calculated value of reducing fuel leaks is 82%.

**Key words:** plunger elements, local areas of wear, fuel leaks, hydraulic characteristics.

**References**

1. Kazakov Yu.F. Analytical assessment of the technical condition of plunger pairs when assembling them according to their hydraulic density. [Analiticheskaya otsenka tekhnicheskogo sostoyaniya plunzhernykh par pri komplektatsii ikh po gidroplotnosti]. / Yu.F. Kazakov, V.A. Ivanov // *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – The Herald of Kazan State Agrarian University.* – 2018. – № 1 (48). – P.138-142.
2. Ivanov V.A. Development of a method for using plunger pairs of a high-pressure fuel pump of a distribution type of diesel engine. [Razrabotka sposoba doispolzovaniya plunzhernykh par toplivnogo nasosa vysokogo davleniya raspredelitel'nogo tipa dizelyat]. / V. A. Ivanov, V. G. Lebedev. – *Mezhdunarodnyy tekhniko-ekonomicheskyy zhurnal. - International technical and economic journal.* - 2017. – № 1. – P. 74-77.
3. Lebedev V.G., Ivanov V.A. A method for the disposal of a plunger pair of a distribution type high pressure fuel

pump. [Sposob utilizatsii plunzhernoy pary toplivnogo nasosa vysokogo davleniya raspredelitel'nogo tipa]. / V.G Lebedev, V.A. Ivanov // *Mezhdunarodnyy nauchnyy zhurnal. - International scientific journal*. 2017. №2. P. 78-80.

4. Dobrokhotoy Yu.N. Analysis of the influence of the check valve's shape on the fuel supply process in distribution type pumps. [Analiz vliyaniya formy obratnogo klapana na protsess toplivopodachi v nasosakh raspredelitel'nogo tipa]. / Yu.N. Dobrokhotoy, Yu.V. Ivanschikov, A.R. Valiev, R.V. Andreev, N.N. Pushkarenko // *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – The Herald of Kazan State Agrarian University* 2019. Vol. 14. № 2 (53). P. 88-94.

5. Dobrokhotoy Yu.N. Improving the accuracy of regulation of the performance of the pump sections of the distribution type fuel pump. [Povysheniye tochnosti regulirovaniya proizvoditel'nosti nasosnykh seksiy toplivnogo nasosa raspredelitel'nogo tipa / Yu.N. Dobrokhotoy, Yu.V. Ivanschikov, A.R. Valiyev, A.O. Vasil'yev// *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – The Herald of Kazan State Agrarian University*. 2019. T. 14. № 1 (52). P. 77-82.

6. Ivanov V.A. *Povysheniye dolgovechnosti raspredelitel'nykh toplivnykh nasosov vysokogo davleniya putem modernizatsii: avtoref. ... kand. tekhn. nauk. Vseros. nauch.-issled. tekhnolog. in-t remonta i ekspluatatsii mashinno-traktornogo parka*. (Increasing the longevity of high-pressure distribution fuel pumps by modernization: author's abstract for a degree Ph.D. of Ph.D. of Technical sciences). // V.A. Ivanov. - Moscow: Vseros. scientific researcher technologist. Institute of Repair and Maintenance of the Machine and Tractor Park, 2011. – P. 16.

7. Bashta T.M. *Obemnye nasosy gidravlicheskie dvigateli gidrosistem*. [Volumetric pumps hydraulic motors of hydraulic systems]. / T.M. Bashta. – M.: Mashinostroenie, 1974. – P. 606.

8. Polivaev O.I., Kostikov O.M., Vorokhobin A.V., Vedrinskiy O.S. *Konstruktsiya traktorov i avtomobiley: uchebnoe posobie / Pod obsch. red. prof. O.I. Polievaeva*. [The design of tractors and cars: textbook / total edition by professor O.I. Polievaeva. – SPb.: Izdatelstvo "Lan", 2013. – P. 288.

9. Theoretical prerequisites for increasing the efficiency of using plunger pairs of self-propelled agricultural machines. [Teoreticheskie predposylki povysheniya effektivnosti ispolzovaniya plunzhernykh par samokhodnykh selskokhozyaystvennykh mashin]. // Belov V.V. and others. *Izvestiya Mezhdunarodnoy akademii agrarnogo obrazovaniya. - News of International Academy of Agricultural Education*. 2019. № 45. P. 14-19.

**Authors:**

Gavrilov Vladislav Nikolaevich – Ph.D. of Agricultural Sciences, Associate professor, e-mail: Gavrilovvlad21@yandex.ru

Novikov Aleksey Mikhaylovich – Ph.D. of Technical Sciences, Associate Professor, e-mail: novam1@mail.ru

Semenov Aleksandr Valerevich – Ph.D. of Agricultural Sciences, Associate Professor, e-mail: s.alexander2011@yandex.ru

Ivanov Vladimir Andreevich – Ph.D. of Technical Sciences, Associate Professor, e-mail: Vladimir21VA@mail.ru  
Chuvash State Agricultural Academy, Cheboksary, Chuvash Republic, Russia.