

**УДК 622.24.051.57**

Маметьев Леонид Евгеньевич, профессор, д.т.н., профессор,  
Хорешок Алексей Алексеевич, директор ГИ, д.т.н., профессор,

Цехин Александр Михайлович, доцент, к.т.н., доцент,

Борисов Андрей Юрьевич, доцент, к.т.н.

(КузГТУ, г. Кемерово)

Leonid E. Mametyev, professor, doctor of engineering sciences,

Aleksey A. Khoreshok, professor, doctor of engineering sciences,

Alexander M. Tsekhin, associate professor, candidate of engineering science,

Andrey Yu. Borisov, associate professor, candidate of engineering science

(KuzSTU, Kemerovo)

## **РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТРАНСПОРТИРУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ РЕЗЦОВО-ДИСКОВОГО РАСШИРИТЕЛЯ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СКВАЖИН**

## **THE DEVELOPMENT OF A DEVICE FOR INCREASING THE CARRYING CAPACITY OF THE CUTTERS-DISC EXTENDER HORIZONTAL WELLS**

### **Аннотация**

Обоснованы конструкции устройств для повышения транспортирующей способности резцово-дискового расширителя горизонтальных и слабо-наклонных скважин. Установлены зависимости мощности, затрачиваемой на разрушение углепородных забоев и транспортирование комбинированным шнекобуровым ставом от скорости бурения и глубины скважины.

### **Abstract**

It justifies the design of devices to enhance the carrying capacity of the cutters-disc extender horizontal and slightly inclined wells. The dependences of the power expended on the destruction of coal faces and transportation by combined screw-drilling string on the drilling speed and depth of the well are established.

На кафедре горных машин и комплексов КузГТУ им. Т.Ф. Горбачева выполняются комплексные исследования по совершенствованию буровой техники, направленные на повышение эффективности ее эксплуатации в различных горно-геологических условиях шахт Кузбасса [1, 2]. В рамках этих исследований разработана, исследована на лабораторном стенде и испытана в шахтных условиях конструкция комбинированного двухступенчатого резцово-дискового расширителя скважин РДР-500 [3, 4]. Расширитель (рис. 1) [5] включает в себя забурник 1, первую резцовую ступень расширителя 2, вторую дисковую ступень расширителя 3. Для удобства проведения монтажа и демон-

тажа конструкция расширителя выполнена разборной. Для соединения с первой ступенью резцового расширителя 2 забурник 1 имеет хвостовик с наружной трапецевидной резьбой. Для соединения с резцовым расширителем 2 вторая ступень дискового расширителя 3 оснащена переходником с наружной конической резьбой. Забурник 1 представляет двухзаходный шнек 4, а корпус дискового расширителя 3 включает двухзаходные лопастные спирали 5, что позволяет из забойной зоны скважины извлекать разрушенный уголь. В процессе работы первой ступени резцового расширителя 2 забой скважины имеет щелевую форму, а его лучи оснащены двумя роликовыми скалывателями 6. При этом буровая мелочь накапливается в зонах 7 и 8 соответственно первой резцовой и второй дисковой ступенях расширителя.

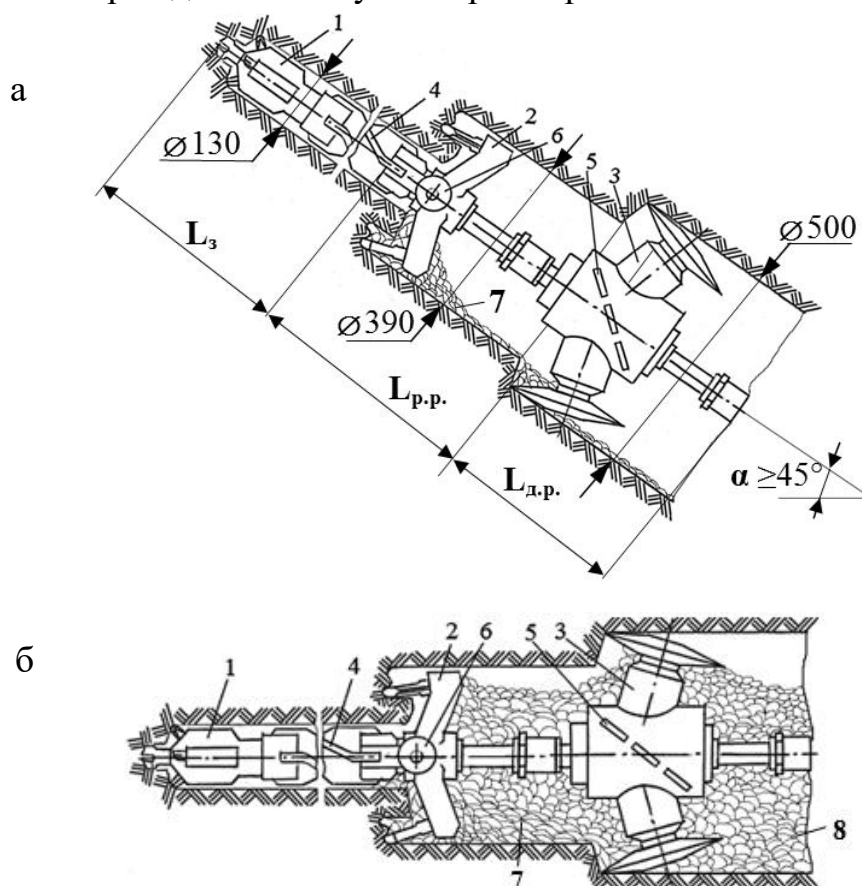


Рис. 1. Условия эксплуатации резцово-дискового расширителя РДР-500 при бурении восстающих (а) и горизонтальных (б) скважин

Расширители резцовый 2 и дисковый 3 выполнены двухлучевыми и могут быть повернуты на  $90^\circ$  относительно друг друга для обеспечения устойчивости. На забурник 1 приходится 5 % разрушаемой поверхности забоя скважины, на резцовый расширитель первой ступени – 55,7 %, на дисковый расширитель второй ступени – 39,3 %.

Конструктивная особенность резцово-дискового расширителя позволяет увеличить выход крупных фракций продуктов разрушения  $\omega_{>50}$ ,  $\omega_{25-50}$ ,  $\omega_{13-25}$  и уменьшить долю мелких фракций  $\omega_{0-1}$  и  $\omega_{1-6}$ , а также снизить пыле-

образование в забойной зоне скважины.

Расширитель РДР-500 испытывался при бурении скважин с углом наклона скважин от  $0^\circ$  до  $90^\circ$ . В процессе бурения важной операцией является удаление продуктов разрушения забоя из скважины. Как показали результаты исследований, при бурении скважины с углом наклона более  $45^\circ$  к горизонту продукты разрушения удаляются под действием собственного веса по лежащей стенке скважины. При углах менее  $45^\circ$  для этой цели необходимо использовать шнековый буровой став [6].

На рис. 2 приведены результаты бурения восстающей скважины расширителем РДР-500 [5]. Анализ полученных экспериментальных данных показывает, что основная часть энергии привода буровой установки расходуется на разрушение забоя скважины резцово-дисковым расширителем.

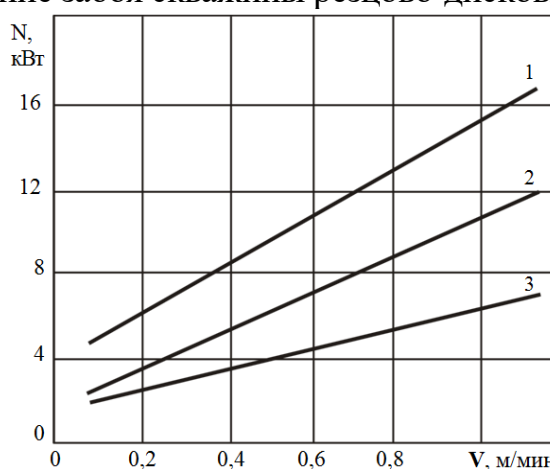


Рис. 2. Зависимости мощности  $N$ , затрачиваемой на разрушение забоя скважины от скорости бурения  $V$ :

1 – расширитель резцово-дисковый; 2 – резцовый расширитель первой ступени; 3 – дисковый расширитель второй ступени

За время шахтных испытаний экспериментальным расширителем пробурено 290 м скважин при сопротивляемости угля резанию  $A_p = 225$  Н/мм.

Сравнение затрат мощности при бурении пилот-скважины диаметром 390 мм резцовым расширителем и расширение скважины до 500 мм дисковым расширителем показало, что потребляемая мощность  $N$  разрушения второй дисковой ступенью в 1,42–1,68 раза меньше, чем первой резцовой. Рекомендовано для совершенствования конструкции резцово-дискового расширителя увеличение площади забоя, обрабатываемого дисковым инструментом до 45 % от общей площади поверхности забоя скважины. Диаметр пилот-скважины целесообразно принять  $D = 370$  мм, а ширину уступа  $B_y = 65$  мм.

В процессе бурения скважины реализуются два процесса: разрушение забурником и расширителем забоя скважины; транспортирование разрушенного материала шнеком бурового става внутри скважины. Отмечено, что при прочих равных условиях основная часть

мощности (80–90 %) затрачивается на транспортирование и на трение шнекового става о стенку скважины. Исследования, выполненные на кафедре, показали, что мощность, потребляемая приводом бурового станка, возрастает прямопропорционально глубине скважины (рис. 3).

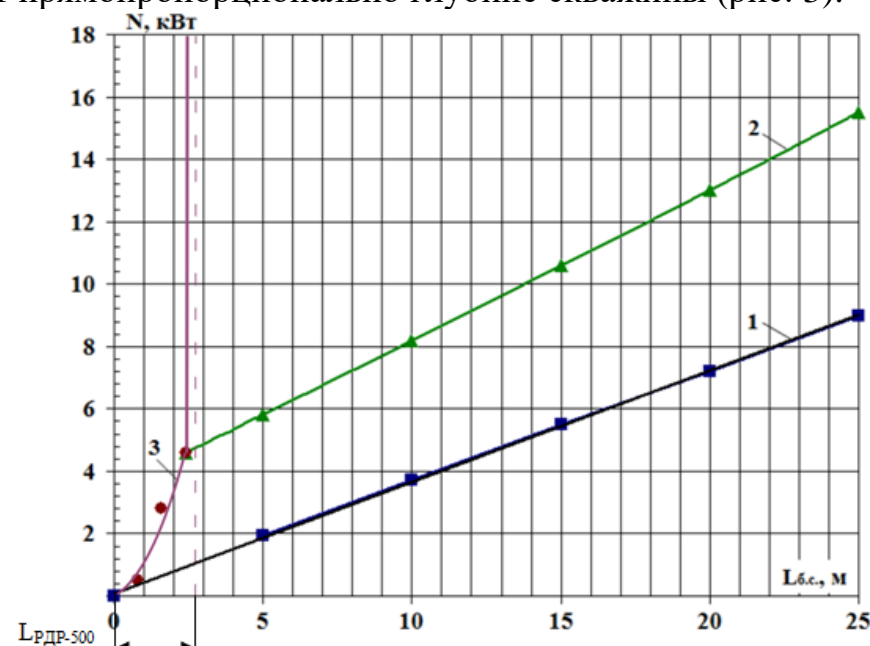


Рис. 3. Зависимости мощности  $N$ , потребляемой приводом вращателя бурового станка от длины бурового става  $L_{б.с.}$ : 1 – холостое вращение бурового става в востоящей скважине; 2 – бурение востоящей скважины расширителем РДР-500; 3 – бурение горизонтальной скважины расширителем РДР-500

При бурении скважины расширителем РДР-500 расчетный объем разрушенного материала  $V$  состоит из трех слагаемых:

- объем разрушенного материала  $V_3$  в пилот-скважине при бурении забурником диаметром  $D_3 = 130$  мм и длиной  $L_3 = 0,8$  м;
- объем разрушенного материала  $V_{pp}$  в скважине при бурении резцовым расширителем диаметром  $D_{pp} = 0,39$  м и длиной  $L_{pp} = 0,8$  м;
- объем разрушенного материала  $V_{др}$  в скважине при бурении дисковым расширителем диаметром  $D_{др} = 0,5$  м и длиной  $L_{др} = 0,8$  м.

Объем разрушенного материала может быть определен из выражения:

$$V = 0,785(D^2 - d^2)L \cdot k_p, \text{ м}^3, \quad (1)$$

где  $D$  – наружный диаметр забурника или расширителя, м;  $d$  – внутренний диаметр забурника или расширителя, м;  $L$  – длина забурника или расширителя, м;  $k_p = 1,4$  – коэффициент разрыхления материала.

Расчеты показали следующие результаты:  $V_3 = 0,01 \text{ м}^3$ ;  $V_{pp} = 0,13 \text{ м}^3$ ;  $V_{др} = 0,18 \text{ м}^3$ .

Рассмотрим последовательно процесс забурирования расширителя РДР-500:

Первая операция – бурение только забурником скважины длиной  $L_3 = 0,8$  м ( $V_3 = 0,01 \text{ м}^3$ ).

Вторая операция – бурение забурником и резцовым расширителем одновременно на длину 1,6 м ( $L_z = 0,8$  м и  $L_{pp} = 0,8$  м;  $2 V_z + V_{pp} = 0,15$  м<sup>3</sup>). Третья операция – бурение забурником, резцовым и дисковым расширителями одновременно на длину 2,4 м ( $L_z = 0,8$  м,  $L_{pp} = 0,8$  м и  $L_{др} = 0,8$  м;  $3V_z + 2V_{pp} + V_{др} = 0,47$  м<sup>3</sup>).

При забурировании расширителя РДР-500 скорости бурения и вращения бурового става принимались минимальными:  $V_n = 0,1$  м/мин;  $n = 42$  мин<sup>-1</sup>.

При бурении восстающей скважины под углом наклона более 45° разрушенный материал в объеме  $V = 0,47$  м<sup>3</sup> транспортируется самотеком по лежащей стенке скважины, что не создает проблем для процесса бурения скважины. С другой стороны, при бурении скважины с углом наклона менее 45° расширителем РДР-500 наблюдалась его заштыбовка продуктами разрушения. Это приводит к “опрокиду” привода вращения бурового станка даже в процессе забурирования на глубину скважины более 2,5 м.

В этой связи на кафедре предложены технические решения, позволяющие повысить транспортирующую способность расширителя РДР-500 в призабойной зоне скважины.

Результаты исследований показали, что процесс транспортирования разрушенного материала горизонтальным шнеком происходит с образованием в межвитковом пространстве шнека отдельных объемов транспортируемой массы. На этот объем влияют скорость вращения бурового става и физико-механические свойства материала. Мощность, затрачиваемая на транспортирование материала в скважине, определялась следующим образом. Скважина бурилась на определенную глубину, а затем отключался механизм подачи бурового станка и при вращении шнекового бурового става материал выдавался из скважины с фиксированием мощности. После полной очистки скважины от продуктов разрушения замерялась мощность, затрачиваемая на холостое вращение шнекового бурового става (зависимость 1 на рис. 3). Как видно из графика на рис. 3 (зависимость 2) при бурении восстающей скважины к мощности, затрачиваемой на холостое вращение добавляется мощность, реализуемая на разрушение забоя скважины расширителем РДР-500.

Как видно из рис. 3 зависимость 3, с увеличением длины скважины с 5 до 25 м, мощность  $N$ , затрачиваемая на привод вращения шнекового бурового става увеличивается в 5,2 раза. Мощность привода вращения шнекового бурового става при глубине скважины 23 м в 1,44 раза выше, чем при бурении восстающей скважины (рис. 3 зависимость 2). Из рис. 3 наглядно видно, что при глубине скважины 23 м наблюдается явление “опрокида” привода вращения шнекового бурового става. Это можно объяснить тем, что суммарная мощность на буровом стае, состоящая из трех составляющих (холостое вращение бурового става; разрушение забоя скважины расширителем РДР-500; транспортирование шнеком разрушенной горной массы), превышает мощность привода вращения бурового станка.

Для расширения области применения бурового станка со шнековым буровым ставом целесообразно разработать технические решения, позволяющие уменьшить затраты мощности на приводе вращения бурового станка. Это можно осуществить следующим образом: уменьшить скорость подачи или увеличить скорость вращения бурового става; улучшить транспортировку разрушенной горной массы из призабойной зоны; модернизировать конструкцию расширителя РДР-500.

Для повышения эффективности транспортирующей способности в зонах резцовой и дисковой ступенях расширителя предлагается следующее техническое решение рис. 4 [7].

Конструкция расширителя (рис. 4) для шнекового бурения горизонтальных слабонаклонных скважин состоит из забурника 1, жестко присоединенного к корпусу 2 двухлучевого расширителя первой ступени с режущим инструментом 3 и скалывающими роликами 4. Корпус 2 жестко прикреплен к шлицевой штанге-проставке 5.

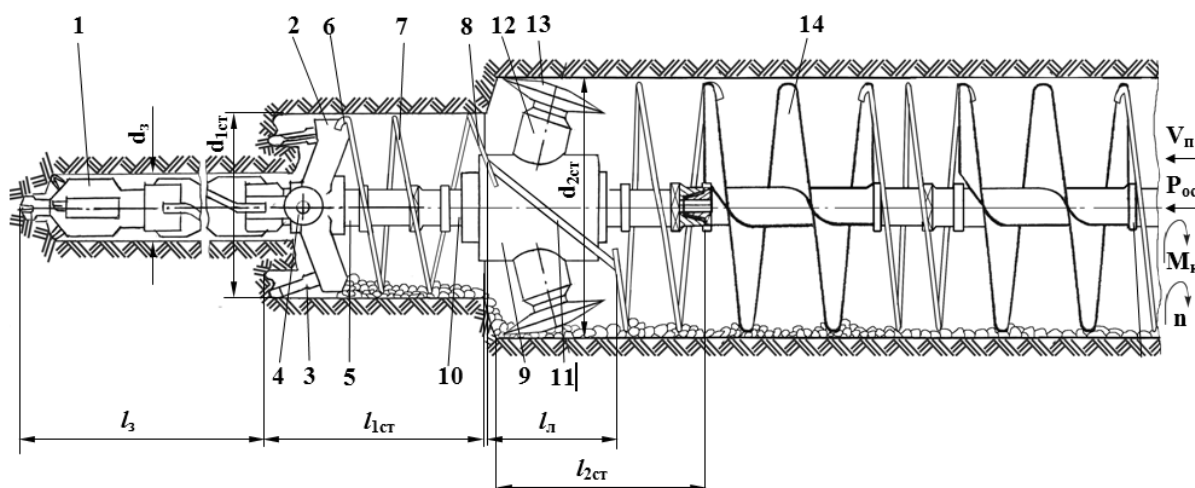


Рис. 4. Конструкция модернизированного расширителя для шнекового бурения горизонтальных и слабонаклонных скважин

К лучу корпуса 2 жестко прикреплен конец 6 пружинной винтовой цилиндрической спирали 7 со свободным концом 8, обращенным ко второй дисковой ступени расширителя. Вторая дисковая ступень расширителя содержит корпус 9, штангу 10, двухзаходные лопасти 11 и два радиально-наклонных трубчатых луча 12 с дисками 13. Штанга корпуса расширителя прикреплена к комбинированному основному пружинно-шнековому буровому ставу 14.

На участке скважины диаметром  $d_3$  и длиной  $l_3$  транспортирование осуществляется четырехзаходным шнеком забурника 1, на участке скважины диаметром  $d_{1ст}$  и длиной  $l_{1ст}$  транспортирование осуществляется пружинной винтовой цилиндрической спиралью 7, на участке скважины диаметром  $d_{2ст}$  и длиной  $l_л$  транспортирование осуществляется двумя лопастями 11, на участке скважины диаметром  $d_{2ст}$  и длиной  $l_{2ст}$  транспортиро-

вание осуществляется пружинной винтовой цилиндрической спиралью 14.

Производительность транспортирования разрушенного материала из призабойной зоны осуществляется двумя пружинными винтовыми цилиндрическими спиралью с параметрами: диаметром  $D_1 = 0,390$  м и шагом  $t_1 = 0,11$  м; диаметром  $D_2 = 0,5$  м и шагом  $t_1 = 0,16$  м.

Производительность может быть определена по формуле:

$$Q = 47D^2t \cdot n \cdot \Psi \cdot \rho \cdot c, \text{ т/ч} \quad (2)$$

где  $D$ ,  $t$  – диаметр и шаг винтовой цилиндрической спирали, м;  $n$  – частота вращения спирали,  $\text{мин}^{-1}$ ;  $\rho$  – плотность транспортируемого материала,  $\text{т/м}^3$ ;  $c$  – поправочный коэффициент, учитывающий угол наклона спирали.

Для угла наклона скважины  $\alpha = 0^\circ$  принимаем  $c = 1$ ;  $\psi = 0,1$ ;  $n = 42$   $\text{мин}^{-1}$ ;  $\rho = 1,3$   $\text{т/м}^3$  (для угольных забоев).

Расчеты показали, что производительность  $Q_1 = 4,29$  т/ч, а производительность  $Q_2 = 10,26$  т/ч.

При данных режимных параметрах бурения горизонтальной скважины диаметром  $D = 0,5$  м две пружинные винтовые цилиндрические спирали обеспечивают непрерывное удаление разрушенного материала из призабойной зоны скважины.

Таким образом, предложенная конструкция расширителя РДР-500 позволяет предотвратить пробкообразование при транспортировании продуктов разрушения в его рабочей зоне, прихват бурошнекового инструмента и повысить стабильность процесса бурения горизонтальных и слабонаклонных скважин.

#### Список литературы

1. Расширитель скважин обратного хода : пат. 160664 РФ на полезную модель: МПК Е 21 В 7/28, Е 21 D 3/00 (2006.01) / Цехин А.М., Маметьев Л.Е., Хорешок А.А., Борисов А.Ю. ; патентообладатель Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. профессиона. образования «Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т. Ф. Горбачева» (КузГТУ). – № 2015135343/03 ; заявл. 20.08.2015 ; опубл. 27.03.2016, Бюл. № 9. – 2 с.

2. Маметьев, Л.Е. Повышение эффективности бурения дегазационных скважин и транспортирования разрушенного угля / Л.Е. Маметьев, А.А. Хорешок, А.М. Цехин, А.Ю. Борисов // Вестник КузГТУ. – 2018. – № 1. – С. 106–111.

3. Маметьев, Л.Е. Снижение пылеобразования при расширении скважин дисковыми инструментами / Л.Е. Маметьев, А.А. Хорешок, А.М. Цехин, А.Ю. Борисов // Фундаментальные научные исследования: теоретические и практические аспекты: сборник материалов V Международной научно-практической конференции (30 октября 2017 года), Том I – Кемерово: ЗапСибНЦ, 2017 – С. 12–15.

4. Маметьев, Л.Е. Обоснование параметров разрушения ступенчато-

го забоя скважины дисковым инструментом / Л.Е. Маметьев, А.А. Хорешок, А.М. Цехин, А.Ю. Борисов // Интеграция современных научных исследований в развитие общества: сборник материалов IV Международной научно-практической конференции (26 декабря 2017 года), Том I – Кемерово: ЗапСибНЦ, 2017 – С. 9–12.

5. Маметьев, Л.Е. Параметры разрушения скважин в угленосных пластах комбинированными расширителями прямого хода / Л.Е. Маметьев, А.А. Хорешок, А.М. Цехин, Г.Д. Буялич, А.Ю. Борисов // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: сборник трудов XVI международной научно-технической конференции «Чтения памяти В.Р. Кубачека», проведенной в рамках Уральской горнопромышленной декады 12-13 апреля 2018 г. / Оргкомитет: Ю.А. Лагунова, А.Е. Калянов. – Екатеринбург: Уральский государственный горный университет, 2018. – С. 77–80.

6. Маметьев, Л.Е. Разработка устройств для отвода потока угля от дискового инструмента расширителей и рамы бурового станка / Л.Е. Маметьев, А.А. Хорешок, А.М. Цехин, А.Ю. Борисов // Вестник КузГТУ. – 2018. – № 1. – С. 99–105.

7. Инструмент для шнекового бурения горизонтальных и слабонаклонных скважин : пат. 182774 РФ на полезную модель: МПК Е 21 В 7/04,

Е 21 В 7/28, Е 21 В 7/30, Е 02 F 5/18 (2006.01) / Маметьев Л.Е, Цехин А.М., Хорешок А.А., Борисов А.Ю. ; патентообладатель Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. образования «Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т. Ф. Горбачева» (КузГТУ). – № 2018117039 ; заявл. 07.05.2018 ; опубл. 31.08.2018, Бюл. № 25. – 2 с.