

УДК 622.2

Б. Т. Ратов¹, д-р техн. наук; **Б. В. Федоров²**, д-р техн. наук; **Д. Р. Коргасбеков²**, магистр техн. наук; **И. Тайбергенова²**, PhD студ.

¹*Каспийский университет, (г. Алматы, Республика Казахстан),
e-mail:ratov69@mail.ru,*

²*Казахский национальный исследовательский технический университет имени
К. И. Сатпаева, ул. Сатпаева 22, 050013 г. Алматы, Республика Казахстан,
e-mail:fedorovbv@mail.ru, daha@mail.ru*

ПОВЫШЕНИЕ СТОЙКОСТИ БУРОВЫХ ИНСТРУМЕНТОВ КОЛЬЦЕВОГО ТИПА ПРИ ПРОХОДКЕ РАЗВЕДОЧНЫХ СКВАЖИН

В работе определены области рационального применения твердосплавных и алмазных буровых коронок для отбора керна при разведочном бурении путем сравнительного расчета стоимости 1 м скважины, пробуренной в одинаковых горно-геологических условиях упомянутыми инструментами. Установлено, что наиболее перспективным направлением по увеличению стойкости твердосплавных инструментов является создание комбинированной коронки, у которой изношенное в процессе бурения вооружение заменяется на новое без подъема бурового снаряда на поверхность.

Повышение стойкости алмазных инструментов обеспечивается также созданием многослойных буровых коронок, матрица которых по высоте имеет несколько импрегнированных алмазосодержащих слоев «гребешкового» профиля, разделенных между собой безалмазными слоями меньшей твердости.

Ключевые слова: комбинированная буровая коронка, алмазные импрегнированные слои, твердые сплавы, скважина.

Известно [1], что твердосплавные коронки применяются при вращательном бурении мягких и средней твердости пород I–VIII категорий по буримости (по 12-ти бальной шкале), при ударно-вращательной бурении в породах V–XI категорий буримости, а алмазные коронки применяются при вращательном бурении в породах от V-ой категории до самых твердых пород XII категории буримости.

Как следует из области применения твердосплавных и алмазных коронок, есть интервал пород по категориям буримости (V–VIII категории), где могут применяться оба типа буровых коронок. Окончательный выбор наиболее эффективной буровой коронки в упомянутой области пород осуществляется путем расчета минимальной стоимости 1 м скважины, пробуренной в одинаковых горно-геологических условиях [2].

Преимущество твердосплавных коронок перед алмазными заключается главным образом в меньшей стоимости, основной недостаток - значительно меньшая стойкость.

Для усиления позиции твердосплавных коронок при бурении горных пород, где возможно применение также алмазных инструментов, рекомендуется проведение исследований в следующих направлениях:

- 1) совершенствование буровых свойств, вооружения и рациональное размещение твердосплавных резов в коронках;
- 2) снижение стоимости изготовления коронок;
- 3) повышение стойкости инструментов.

Исследование по первому направлению проводится путем создания новых композиционных материалов, обладающих повышенной твердостью и стойкостью к абразивному износу. Здесь следует отметить работу института сверхтвердых материалов

(ИСМ, Украина), создавшего материал "Славутич" [3], представляющий смесь карбида вольфрама и синтетических алмазов, которая прессуется в необходимые формы и изготавливается методом порошковой металлургии. Основным сдерживающим фактором для оснащения "славутичем" буровых коронок является их малая производительность в породах VI–VII категорий по буримости – 0,5–1,5 м/ч. Для повышения производительности бурения коронками, вооруженными "Славутичем" следует увеличить размер алмазных зерен, входящих в его состав, до 3–4 мм. Это позволяет увеличить вылет зерен, а значит, и скорость бурения.

Весьма перспективным исследованием по первому направлению является создание буровых коронок, армированных резцами PDC [4–7]. Коронки и долота, вооруженные PDC-резцами, разрушают породу в режиме резания. В мягких породах PDC-инструменты демонстрирует скорость проходки, в три раза превышающую скорость бурения другими долотами, а их стойкость достигает 4000–4500 м скважин на одно долото. Буровые инструменты, оснащенные алмазно-твердосплавными пластинками, эффективно применять в условиях, когда не обеспечивается достаточная производительность твердосплавных коронок или происходит их быстрый износ. В то же время использование мелкоалмазных коронок, несмотря на их высокую износостойкость, не обеспечивает высокой механической скорости бурения.

Второе направление исследований, связанное со снижением стоимости изготовления твердосплавных коронок, имеет мало перспектив для достижения значительных положительных результатов. Исключение может составить, пожалуй, лишь технология изготовления PDC-резцов, которая в настоящее время достаточно сложная и дорогая, и есть определенные перспективы для её упрощения и удешевления.

Третье направление исследований – это повышение проходки на буровой инструмент с учетом современного состояния его вооружения по твердости и абразивной стойкости. Чтобы решить такую задачу, нужно создать такую конструкцию буровой коронки, при которой её вооружение (твердосплавные резцы) обрабатывалось бы последовательно во времени без подъема всего бурового снаряда для его замены.

Попытки решить такую задачу предпринимались в бывшем СССР в 90-ых годах прошлого века [8], однако разработанные устройства не были доведены до промышленного применения. Нами предлагается следующая конструктивная схема решения подобной проблемы. Комбинированная коронка (рис. 1) состоит из переходника 1 для соединения с керноприемной трубой (не показана), внутреннего 2 и наружного 3 корпусов скрепленными стопорными винтами. Торцы корпусов 2,3 оснащены твердосплавным вооружением 5,6, причем торцевая часть внутреннего корпуса 2 размещена выше донной части наружного корпуса 3 на расстояние h .

После спуска колонкового снаряда и приложения к нему осевой нагрузки, крутящего момента и подачи промывочной жидкости осуществляется формирование кольцевого забоя вооружением 5 наружного корпуса 3 (рис. 1 а), а образующийся керн входит в керноприемную трубу.

После износа вооружения 6 к колонковому снаряду прикладывается дополнительная осевая нагрузка, превышающая прочность стопорных винтов 4. Внутренний корпус 2 перемещается вниз на расстояние h (рис 1 б), его новое вооружение бконтактирует с забоем и продолжает углубление забоя взамен изношенного вооружения 5. Только после износа вооружения 6 весь буровой снаряд поднимается на поверхность.

Способы создания силы, срезающей стопорные винты 3, различны:

- при малой глубине скважины перерезывающая стопорные винты сила $Q_{\text{ср}}$ будет равна:

$$Q_{\text{ср}}^I = Q_{\text{бк}} + P_{\Gamma}, \quad (1)$$

где $Q_{\text{бк}}$ – вес бурильной колонны в буровом растворе; P_{Γ} – сила, развиваемая в гидроцилиндрах вращателя бурового станка;
- при большой глубине скважины

$$Q_{\text{ср}}^{\text{II}} = Q_{\text{бкmax}} \text{ или } Q_{\text{ср}}^{\text{II}} = Q_{\text{бкmax}} - P_{\Gamma}. \quad (2)$$

Условия среза $\delta_{\text{ср}}$ стопорных винтов имеет вид

$$\delta_{\text{ср}} = \frac{4Q_{\text{ср}}}{\pi d^2 \cdot m} > \delta_{\text{српр}}^0 \cdot k [\tau_{\text{ср}}], \quad (3)$$

где $\delta_{\text{српр}}^0$ – прочность металла винтов на срез; m – количество стопорных винтов;
 d – диаметр винтов; k – коэффициент запаса; $[\tau_{\text{ср}}]$ – допустимое напряжение материала винтов на срез.

Расчетная нагрузка $Q_{\text{расч}}$, передаваемая на буровую коронку при рациональном режиме, должна быть значительно меньше перерезывающей силы $Q_{\text{ср}}$. $Q_{\text{расч}} \ll Q_{\text{ср}}$, (примерно 2-3 раза), для исключения преждевременного срезания стопорных винтов в результате всплеса динамических сил при бурении трещиноватых пород при еще работающем первичном вооружении 5.

При рассмотрении проблемы совершенствования алмазных коронок отметим сразу, что их стойкость превышает аналогичный показатель твердосплавных коронок. Однако, и здесь возникает проблема, связанная со стойкостью алмазных коронок при бурении твердых абразивных пород X-XII категорий по буримости, которая еще более обостряется при бурении снарядами съемными керноприемниками (ССК).

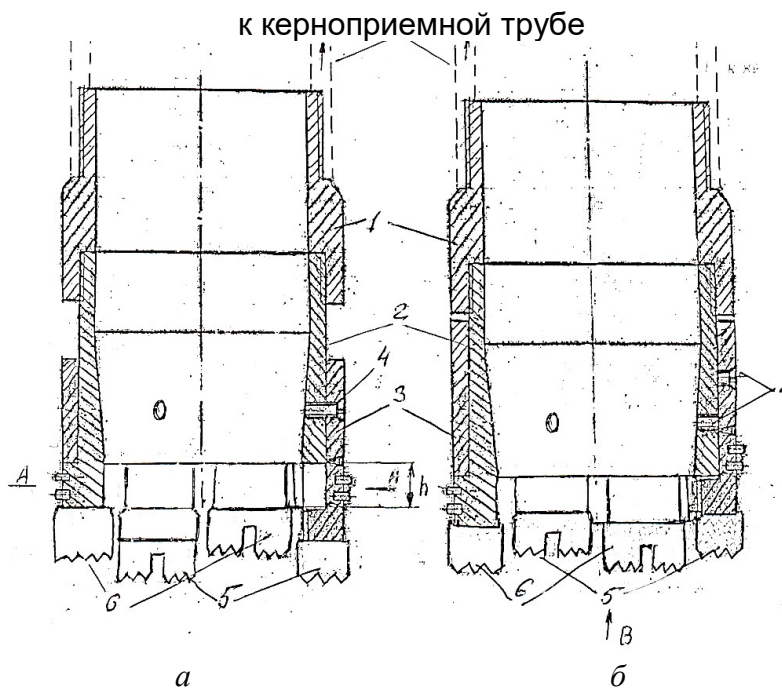


Рис 1. Принципиальная схема буровой коронки повышенной стойкости: а – положение деталей при разрушении забоя резцами 5; б – положение деталей при разрушении забоя резцами 6

Эта проблема частично решена путем создания многослойных алмазных коронок, матрица которых по высоте содержит несколько импрегнированных алмазных слоев «гребешкового» профиля, разделенных безалмазными слоями меньшей твердости [9, 10].

Доказано [11], что «гребешковый» профиль значительно повышает эффективность разрушения забоя скважины.

Одна из разработанных нами коронок, имеющая равномерно нагруженный в процессе бурения «гребешковый» профиль алмазосодержащих слоев матрицы приведена на рис. 2. В продольном сечении (рис. 2. б) указанный профиль представляет примыкающие друг другу треугольники с равными основаниями t , но с различной высотой h_i . Последняя убывает в направлении от периферийного кольцевого выступа алмазосодержащего слоя к оси коронки в соответствии со следующей зависимостью:

$$h_i = \frac{(2R_B + 0.5t)}{2R_B + (2m_i - 1) \cdot 0.5t} h_{max} \quad (4)$$

При бурении по мере износа одного импрегнированного алмазного слоя в работу вступает второй алмазный слой, затем третий и так далее. Контакт алмазных слоев с забоем обеспечивается за счет более быстрого износа безалмазных слоев меньшей твердости. Применение разработанной коронки (рис. 2) обеспечивает не только равномерную нагрузку на выступы алмазосодержащих слоев, но и уменьшение затрат мощности на бурение, а также экономию алмазного сырья при изготовлении алмазных инструментов.

Упомянутая коронка (рис. 2) под маркой КСБ-2 участвовала в сравнительных испытаниях с алмазной коронкой NQ «BoartLongyear» всемирно известной фирмы аналогичного названия. Диаметр обеих коронок 76 мм. Бурение осуществлялось на месторождении Мизек (Семипалатинская область, Казахстан) по андезитовому порфириду (X категории по буримости) и андезитовому, сильно окварцованному туфу (XI категории по буримости).

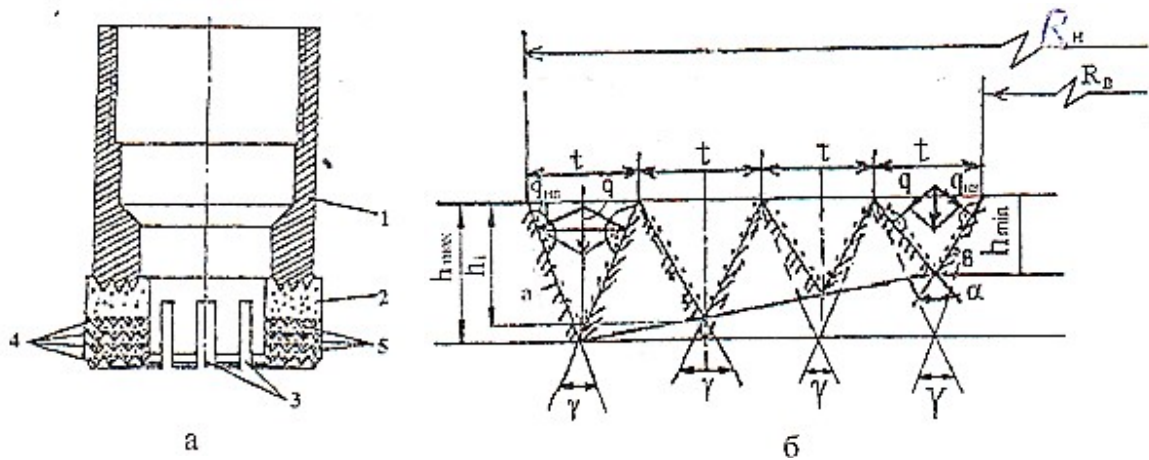


Рис. 2. Многослойная буровая коронка с равномерно нагруженными импрегнированными алмазосодержащими слоями гребешкового профиля: а – общий вид; б – форма алмазосодержащего слоя в продольном сечении. 1 – корпус; 2 – матрица; 3 – промывочные окна; 4 – алмазосодержащие слои; 5 – безалмазные слои

Каждой коронкой пробурено свыше 1000 м скважин. Установлено, что стойкость коронки КСБ-2 превышает аналогичной показатель NQ «BoartLongyear» на 22–23 % в породах X-ой категории – 181 и 148 м; и в породах XI категории – 48 и 39 м.

Работы по дальнейшему совершенствованию конструкций алмазных коронок необходимо проводить с учетом особенности механизма разрушения крепких горных пород алмазными зернами, которая была установлена в ИСМ (Украина). Это особенность заключается в том, что при взаимодействии алмазного зерна с породой в последней

формируются две зоны: зона непосредственного внедрения зерна и расположенная под ней зона разрушенной (разбитой трещинами), но не удаленной породы, причем мощность зоны разрушения h_p превышает зону внедрения h_v 5–12 раз.

С учетом этого эффекта была разработана и запатентована алмазная коронка, торец матрицы которой выполнен в виде трехзаходной винтовой поверхности [12]. На каждом заходе последней расположено равное количество промывочных каналов, разделяющих матрицу на секторы. Матрица включает чередующуюся друг другом равные по толщине алмазосодержащие слои и слои связующего материала меньшей твердости (например, карбида вольфрама). Все упомянутые слои расположены по винтовым поверхностям соответственно торцевой трехзаходной поверхности матрицы коронки.

Угол подъема α винтовых поверхностей определяется по формуле:

$$\alpha = \arctg \frac{nh_p}{\pi D_{\text{ср}}}, \quad (5)$$

где n – число заходов винтовой поверхности : $n = 3$;

h_p – глубина зоны разрушения алмазными зернами;

$D_{\text{ср}}$ – средний диаметр торца матрицы.

Отличительной особенностью коронки является гребешковая форма алмазосодержащих и безалмазных слоёв, размещенных на винтовых поверхностях. В настоящее время проводятся опытно-конструкторские работы по изготовлению и испытанию упомянутой коронки.

Следует отметить, что разработанные алмазные коронки при их внедрении смогут решить проблему бурения пород VI–X категории по буримости. В самых твердых абразивных породах XI–XII категорий производительность и проходка на инструмент все же недостаточна.

Для кардинального увеличения проходки на инструмент следует разработать комбинированную коронку, показанную на рис. 1, но с алмазным вооружением. Матрица коронки должна иметь несколько гребешковых импрегнированных слоев, равнонагруженный профиль, который рассчитывается по формуле (4), и показан на рис 2 б.

Выводы

1. Значительное повышение стойкости твердосплавных буровых инструментов кольцевого типа можно реализовать путем создания комбинированной коронки с заменой породоразрушающих элементов непосредственно на забое скважины.

2. Повышение стойкости алмазных буровых инструментов кольцевого типа следует реализовать в два этапа:

- на первом этапе создать и испытать многослойные буровые коронки, у которых алмазосодержащие импрегнированные слои имеют гребенчатую форму и расположены на трехзаходной винтовой поверхности; шаг последней определяется формулой (5);

- на втором этапе создать комбинированную коронку по типу комбинированной твердосплавной, но с заменой твердосплавных породоразрушающих элементов на алмазные многослойные с гребенчатой формой слоев.

3. Провели опытно-конструкторские работы по созданию буровых коронок, оснащенных резцами PDC, установили оптимальную форму последних и их иррациональное размещение на торце коронки.

В роботі визначені області раціонального застосування твердосплавних і алмазних бурових коронок для відбору керна при розвідувальному бурінні шляхом порівняльного розрахунку вартості 1 м свердловини, пробуреної в однакових гірничо-геологічних умовах згаданими інструментами. Встановлено, що найбільш перспективним напрямком по підвищенню стійкості твердосплавних

інструментів є створення комбінованої коронки, у якій зношення в процесі буріння озброєння замінюється на нове без підйому бурового снаряда на поверхню.

Підвищення стійкості алмазних інструментів забезпечується також створенням багатошарових бурових коронок, матриця яких по висоті має кілька імпрегновану алмазосодержащих шарів «Гребінкова» профілю, розділених між собою безалмазними шарами меншою твердості.

Ключові слова: комбінована бурова коронка, алмазні насичені шари, тверді сплави, свердловина.

B. Ratov, B. Fedorov, D. Korgasbekov, I. Taybergenova
INCREASING THE STABILITY OF DRILLING TOOLS OF A RING TYPE AT THE
PASSING OF EXPLORATION WELLS

In this paper, the areas of rational use of hard-alloy and diamond drill bits for core selection in exploratory drilling are determined by comparative calculation of the cost of 1 m of a well drilled in the same mining and geological conditions by the mentioned tools. It is established that the most promising direction to increase the durability of carbide tools is the creation of a combined crown, in which the worn-out armament in the process of drilling is replaced with a new one without lifting the drilling tool to the surface.

In addition to the mentioned direction, the increase in the durability of diamond tools is also provided by the creation of multilayer drill bits whose matrix has a height of several impregnated diamond-containing layers of the «crested» profile, separated by non-smooth layers of lesser hardness.

Key words: combined drill bit, diamond impregnated layers, hard alloys, durability, borehole.

Литература

1. Федоров Б. В. Бурение скважин. – Алматы: изд. КазННТУ имени К.И. Сатпаева 2016. – 316с.
2. Михайлова Н. Д. Техническое проектирование колонкового бурения–М: Недра, 1995. – 200с.
3. Технология бурения нефтяных и газовых скважин: Учебник для вузов /А. Н. Попов, А. И. Спивак, Т. О. Акбулатов и др.; под общ. ред. А. И. Спивака и Л. А. Алексева. М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2007. – 508 с.
4. Безуглый А. В. Особенности устройства долот PDC для сооружения скважин на нефть и газ // Проблемы научно-технического прогресса в бурении скважин.– 2014. – С. 129–141.
5. Литкович Ю. Ф., Третьяк А. А. Разработка буровых коронок, армированных АТП, для бурения с отбором керна съемным керноприемником // Строительства нефтяных и газовых скважин на суше и на море. Раздел обрудование и инструмент.–2014.–№ 7–С. 33–38.
6. Богданов Р. К., Загора А. П., Исонкин А. М. Пути снижения энергоемкости разрушения пород буровым инструментом резцевого типа. // Известия высших учебных заведений. –2003.– № 4 – С. 72–76.
7. Назарбаева Д. К. Сравнительная оценка эффективности работы долот шарошечного и безшарошечного типа PDC // Сб. научных статей международной научно–практической конференции «Инновация–2017». – 2017 – С. 171–172.
8. Корнилов Н. И., Головин С. С. Современные тенденции в создании алмазного породоразрушающего инструмента //Породоразрушающий инструмент, армированный природными алмазами. – 1989. – С. 6–9.
9. Предварительный патент Республики Казахстан. Алмазная буровая коронка / Федоров Б. В., Кудайкулов С. К., Касенов А. К. – № 13169. Оpubл.16.06.2003, Бюл. № 6.

10. Предварительный патент Республики Казахстан. Алмазная буровая коронка / Федоров Б. В., Кудайкулов С. К., Касенов А. К. – №17379. Оpubл. 15.05.2006, Бюл. № 5.
11. Ресурсосберегающая технология алмазного бурения в сложных геологических условиях / Соловьев Н. В., Чихоткин В. Ф., Богданов Р. К., Загора А. П. – М: ОАО «ВНИИОЭНТ», 1997. – 332 с.
12. Инновационный патент Республики Казахстан. Алмазная буровая коронка / Федоров Б. В., Кудайкулова Г. А., Бердыбаев И. М. – №74012. Оpubл. 15.05.2012, Бюл. № 5.

Поступила 18.06.18

References

1. Fedorov, B. V. (2016). *Burenie skvazhin [Drilling of the wells]*. Almaty: KazNITU [in Russian].
2. Mihailova, N. D. (1995). *Tekhnicheskoe proektirovaniie kolonkovogo bureniya [Technical design of core drilling]*. M: Nedra. [in Russian].
3. Popov, A. N., Spivak, A. I., Bekbulatov T. O. at al. (2007) *Tekhnologiya bureniia neftyanyh i gazovykh skvazhin. [Technology of drilling oil and gas wells]* A. I. Spivak, L. A. Alekseev (Ed.). M: Nedra. [in Russian].
4. Bezuglyi A. V. (2014). Osobennosti ustroystva dolot PDC dlia sooruzheniia skvazhin na neft i gaz [Ways to reduce the energy intensity of fracture of rocks with chisel tools]. *Problemy nauchno-tekhnicheskogo progressa v burenii skvazhin – Problems of scientific and technical progress in drilling wells*, 129–141 [in Russian].
5. Litkovich Yu. F., Tretiak A. A. (2014). Razrabotka burovykh koronok, armirovannykh ATP, dlia bureniia s otborom kernosiemnym kernopriemnikom [Development of drill bits, reinforced with ATP, for drilling with core sampling by a removable core receiver]. *Stroitelstvo neftyanykh i gazovykh skvazhin na sushe i na more– Construction of oil and gas wells on land and at sea*, 7, 33–38 [in Russian].
6. Bogdanov R. K. Zakora A. P., Isonkin A. M. (2003). Puti snizheniia energoemkosti razrusheniia porod burovym instrumentom reztsevo gotipa. [Ways to reduce the energy intensity of fracture of rocks with chisel tools]. *Izvestiia vysshikh uchebnykh zavedenii – Proceedings of higher educational institutions*, 4, 72–76 [in Russian].
7. Nazarbaeva D. K. (2017). Sravnitelnaia otsenka effektivnosti raboty dolot sharoshechnogo i bezsharoshechnogo tipa PDC [Comparative evaluation of the efficiency of the roller and cone-free bit bits PDC]. *Sb. nauchnykh statei mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferencii "Innovaciya–2017 – Sat. scientific articles of the international scientific-practical conference "Innovation–2017"*, (pp171–172) [in Russian].
8. Kornilov N. I., Golovin S. S. (1989). Sovremennyye tendencii v sozdaniie almaznogo porodorazrushaiushchego instrumenta [Modern trends in the creation of diamond rock cutting tools]. *Porodorazrushayushchii instrument, armirovannyi prirodnyimi almazami– Rock-breaking tools reinforced with natural diamonds*, 6–9 [in Russian].
9. Fedorov B. V., Kudaikulov S. K., Kasenov A. K. Patent of Republic of Kazakhstan. 13169.
10. Fedorov B. V., Kudaikulov S. K., Kasenov A. K. Patent of Republic of Kazakhstan. 17379.
11. Soloviev N. V., Chikhotkin V. F., Bogdanov R. K., Zakora A. P. (1997). *Resursosberegaiushchaya tekhnologiya almaznogo bureniia v slozhnykh geologicheskikh usloviakh [Resource-saving technology of diamond drilling in complex geological conditions]*. – M: ОАО «ВНИИОЭНТ». [in Russian].
12. Fedorov B. V., Kudaikulova G. A., Berdybaev I. M. Patent of Republic of Kazakhstan 74012.