

**Н.А. Дудля, канд. техн. наук**

(Украина, Днепропетровск, Национальный горный университет),

**И.Е. Данильченко, канд. техн. наук, Г.Н. Викторов, Г.Н. Кириченко**

(Днепропетровское отделение УкрГГРИ)

## ПОВЫШЕНИЕ РЕСУРСА КОЛОНКОВЫХ ТРУБ

Горячекатаные трубы (рис.1, таблица) группы прочности Д, К, Е диаметром 36–108 мм (ГОСТ 6238-77) служат для отбора керна при бурении геолого-разведочных скважин в породах I-XII категорий. Трубы изготавливают в виде следующих соединений: безнипельные «труба в трубу»; нипельные, входящие в колонковые наборы, состоящие из одной или нескольких труб.

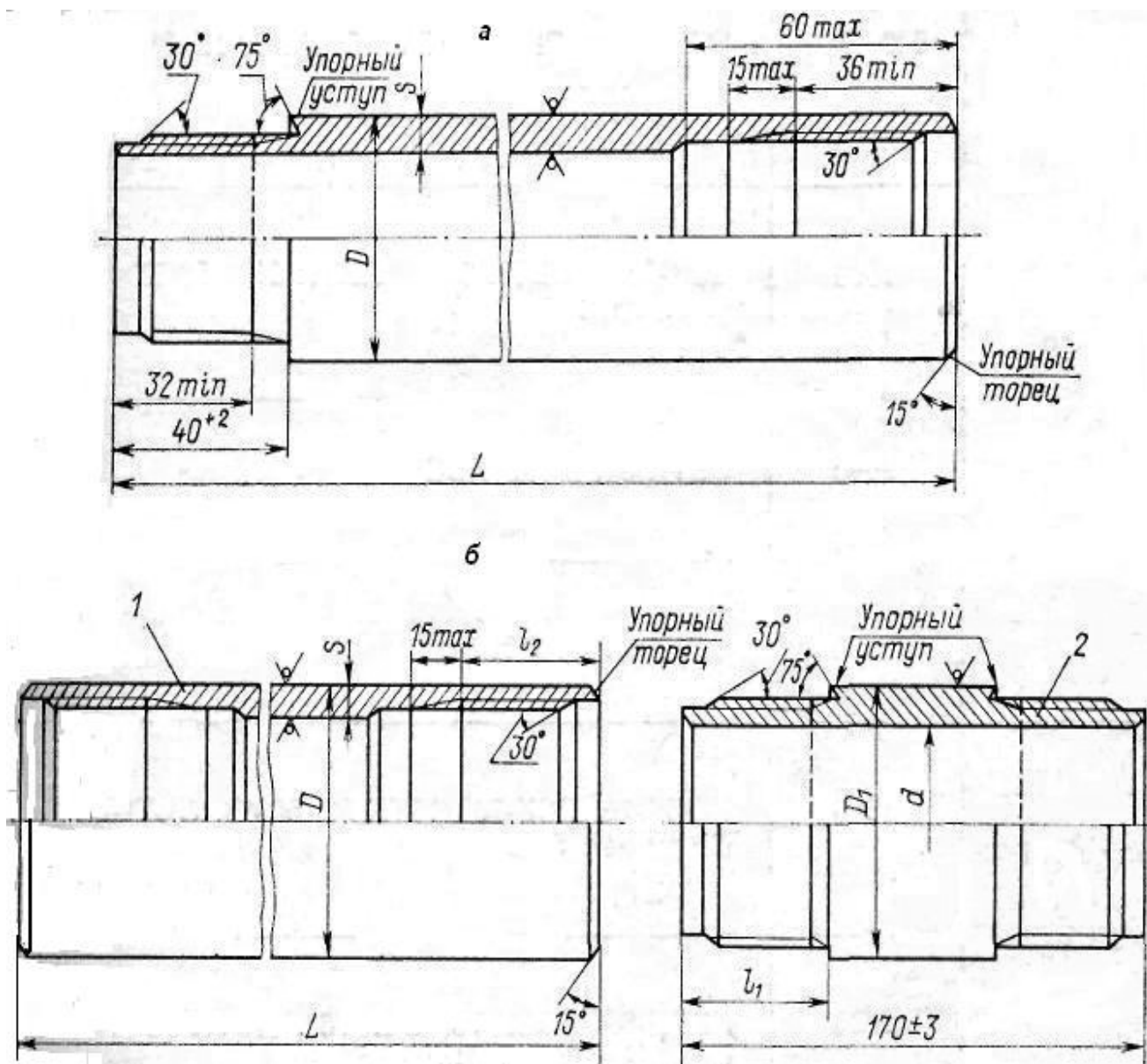


Рис. 1. Соединения колонковых труб: а - труба в трубу; б - нипельные

### Техническая характеристика колонковых труб и ниппелей (ГОСТ 6238-77)

Показатель	Диаметры скважин, мм					
	36	46	59	76	93	112
Наружный диаметр труб D, мм Наружный диаметр ниппелей D <sub>1</sub> , мм	33,5	44	57	73	89	108
Толщина стенки S, мм	3,0	3,5	4,5	5,0		
Внутренний диаметр ниппеля d, мм	24,5	34,0	46,0	62,0	78,0	95,5
Длина труб L, мм	1500 3000 4500		3000 4500 6000			
Резьба	Цилиндрическая трапецеидальная, шаг 4, высота профиля 0,75					
Диаметр резьбы (наружный × × внутренний)	29,8 × × 28,3	40 × × 38,5	52 × × 50,5	68 × × 66,5	84 × × 82,5	103 × × 101,5
Длина наружной резьбы ниппеля $\frac{1}{4}$ и внутренней резьбы трубы $\frac{1}{2}$ с полным профилем, мм	40			60		
Масса 1 м трубы (одного ниппеля), кг	2,26 (0,5)	3,50 (0,7)	5,83 (1,0)	8,38 (1,3)	10,36 (1,7)	12,7 (2,4)
Материал труб и ниппелей, кг	Сталь марки 36Г2С (группа прочности К) с пределами прочности 750 и текучести 500 МПа					

В результате воздействия горных пород на буровой инструмент, находящийся в скважине во время бурения, наружная поверхность его деталей изнашивается.

Износу наиболее подвержены детали, расположенные ближе к забою, в частности, колонковые трубы. Интенсивность их износа зависит от многих факторов, наиболее существенными из которых являются твердость поверхности деталей и абразивность горных пород.

В процессе бурения колонковые трубы подвержены влиянию продольных сжимающих и поперечных изгибающих сил, что связано с передачей ими колонке осевых усилий и крутящего момента.

Жесткость колонковых труб EJ, в зависимости от их диаметра, выражается законом, близким к логарифмической функции. Поэтому колонковые трубы малых размеров имеют небольшую устойчивость, а их деформации особенно значительны [6-8]. Сильно деформированные колонковые трубы подвержены большому износу, они способствуют резким искривлениям ствола скважины, значительно ухудшают качество керна и процент его выхода, служат причиной аварий из-за поломок труб по резьбе, разрывов верхнего переходника и отрывов коронки.

Исходя из вышеперечисленного колонковые трубы требуют упрочнения наружной поверхности и, особенно, их концов в области резьбы.

Для повышения ресурса колонковых труб были исследованы следующие способы, апробированные ВИТР и СКБ [1-5] :

- механическое упрочнение методом холодной прокатки;
- термическое упрочнение поверхности с нагревом ТВЧ;

- хромирование (гальваника);
- нанесение защитных износостойких твердосплавных покрытий электроимпульсной наплавкой;
- наплавка твердосплавных покрытий с нагревом ТВЧ;
- диффузионное барирование с закалкой ТВЧ;
- метод фрикционно-упрочняющей обработки (ФРУО), разработанный Львовским физико-механическим институтом;
- метод диффузионного барирования с последующей термической обработкой (отпуск).

В результате рассмотрения способов повышения износостойкости был сделан вывод о том, что для упрочнения поверхности и концов колонковых труб необходимо соблюдать следующие требования:

- упрочнение не должно влиять на структуру ниже лежащих слоев металла (под покрытием) и снижать работоспособность резьбового соединения;
- недопустимо увеличение диаметра упрочненного муфтового конца трубы на величину более плюсового допуска по диаметру.

Наиболее эффективными признаны метод термического упрочнения поверхности колонковой трубы (за исключением концов труб) и метод ФРУО, которым упрочняются концы труб. Сущность фрикционно-упрочненной обработки заключается в следующем: на суппорте токарного станка устанавливается приспособление – электромотор, приводящий во вращение диск, обрабатывающий закрепленную в патроне станка деталь. Сама деталь вращается с частотой 80 мин<sup>-1</sup>, а диск – в противоположную сторону и с частотой 7000 мин<sup>-1</sup>. При этом диск прижимается к обрабатываемой трубе с определенным усилием и одновременно перемещается по продольной оси станка. За счет прижатия и проскальзывания диска по детали происходит импульсный нагрев обрабатываемой детали до температуры выше температуры фазовых превращений и одновременно за счет воздействия импульсных давлений с последующим скоростным охлаждением в поверхностном слое возникают пластические деформации. В результате на поверхности трубы образуется упрочненный слой толщиной в 70 – 100 мкм. При этом процессе за счет нагрева поверхности наблюдается ускоренная диффузия отдельных химических элементов (углерода, кремния), что приводит к упрочнению металла за счет химико-термического насыщения поверхности с одновременным пластическим деформированием и соответственно к увеличению микротвердости поверхностного слоя до 5500 МПа (550 кгс/мм<sup>2</sup>), но при этом диаметр концов трубы уменьшается на 0,15 – 0,20 мм. Затраты времени на обработку одного конца трубы незначительны (около 10 мин). Длина обрабатываемой поверхности концов трубы – 150 мм.

Повышение твердости поверхности труб возможно за счет термического упрочнения. Наиболее удобным и экономичным является метод упрочнения тела трубы с помощью индукционного нагрева токами высокой частоты (ТВЧ).

В работах [3, 4] приведены результаты эксплуатации бурильных труб геологоразведочного сортамента, упрочненных ТВЧ. Показано, что расход их по сравнению с неупрочненными снизился в 1,5 – 2,0 раза.

Технология упрочнения поверхности колонковых труб, а также соединений к ним обрабатывалась на вертикальных установках (ВЗУ) в ЦРММ треста «Южургеология».

Закаленный слой при равных условиях нагрева поверхности металла 850 – 930 °С, скорости нагрева 200 – 400 град/с и скорости охлаждения более 700 град/с, при температуре отпуска 220 – 240 °С, твердости 50 – 55 HRC и глубине 0,7 – 0,9 мм имеет неодинаковую структуру, кроме основной – мартенсита, т.е. имеются остатки сетки феррита, что свидетельствует о недостаточной температуре нагрева. Все это говорит о том, что перед закалкой поверхности колонковых труб и других деталей необходим входной контроль исходной микроструктуры труб.

Для улучшения механической прочности концов труб на длине 60 – 100 мм после закалки производится отпуск при температуре 630 – 650 °С, в результате чего слой приобретает структуру сорбита, не склонного к раздутию и растрескиванию при взаимодействии концов трубы с верхним переходником и породоразрушающим наконечником в процессе бурения.

Микроструктура исходной и упрочненной поверхности колонковой трубы из стали группы прочности Д изображена на рис.2.

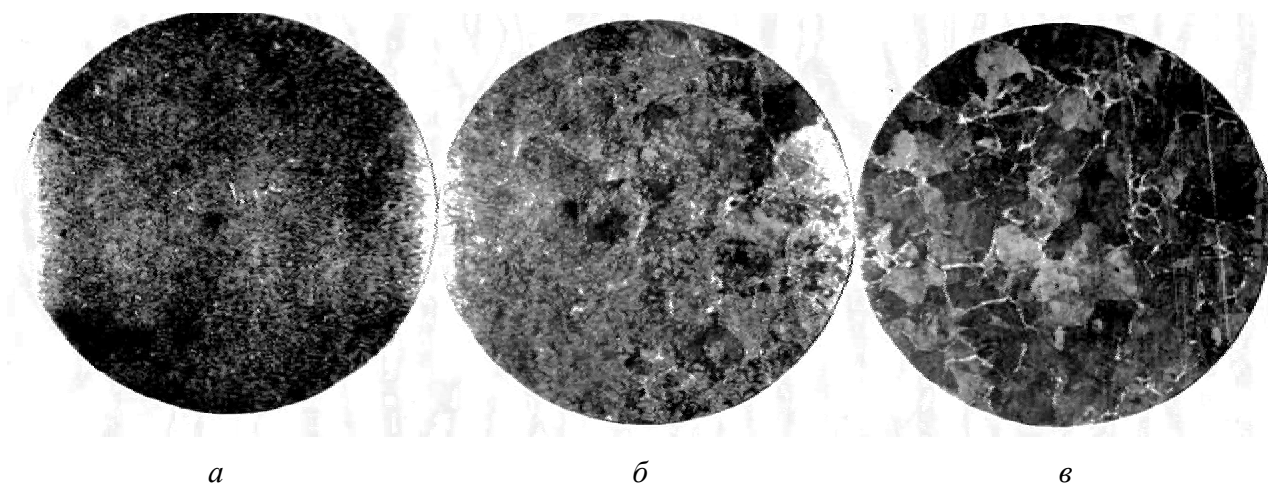


Рис. 2. Микроструктура упрочнённой поверхности колонковой трубы (сталь Д):

- а* – закалённый слой (отпущенный мартенсит);
- б* – переходной слой (мартенсит + тростит + феррит);
- в* – исходный слой (феррит + перлит)

Для закалки наружной поверхности колонковых труб использовались одно- и двухвитковые индукторы (рис.3), которые изготавливались из медной трубки квадратного сечения 10x10 мм. При этом внутренний диаметр индуктора превышал диаметр закаливаемой детали на 6 – 8 мм. Во избежание касания закаливаемой детали с индуктором последний обматывался шнуровым асбестом. Асбест обмазывался силикатным клеем и высушивался на воздухе. Для охлаждения нагретой поверхности при индукционной закалке колонковых труб применялись спрейеры (рис. 4).

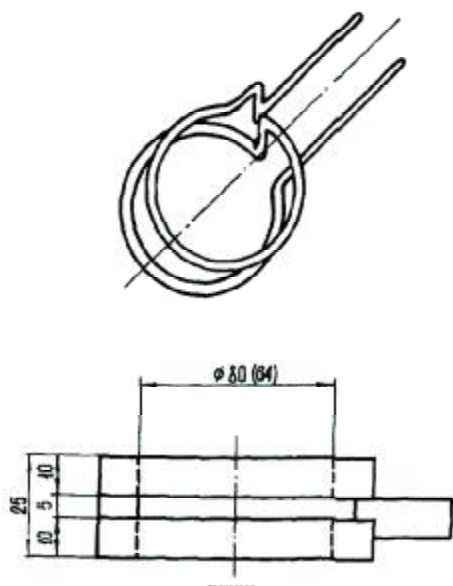


Рис.3 Разрез двувиткового индуктора для закалки поверхности колонковых труб

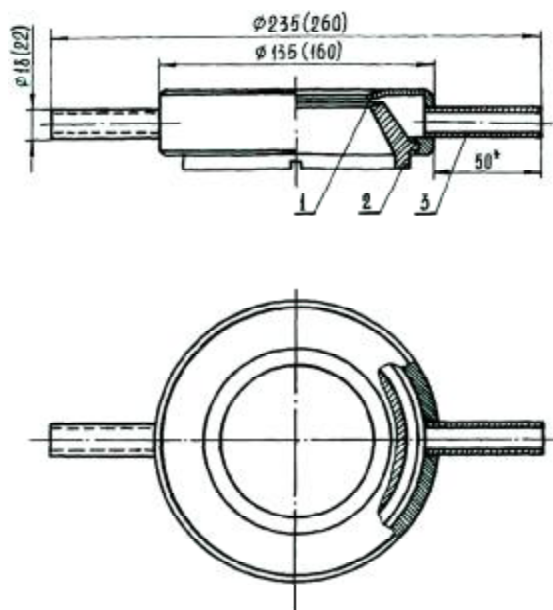


Рис. 4 Спрейер щелевой в разрезе для закалки колонковых труб:  
1 – корпус; 2 – регулятор; 3 – штуцер

При закалке колонковых труб важное значение имеет соосность трубы с индуктором, так как отклонение трубы от оси индуктора вызывает неравномерный нагрев поверхности, что приводит к разной глубине закаливания слоя как по периметру трубы, так и по ее длине. Это особенно важно при малой (0,7 – 0,3 мм) глубине закаленного слоя. Для соблюдения соосности колонковых труб и индуктора применялся шаровой центратор (рис. 5).

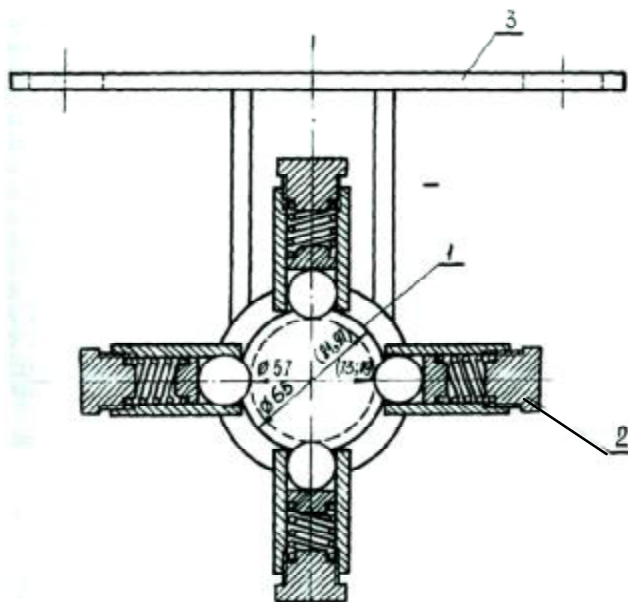


Рис. 5. Шаровой центратор в разрезе:  
1 – кольцо; 2 – опора центратора; 3 – центратор

В испытаниях было задействовано 7 упрочненных и 10 неупрочненных колонковых труб. Испытания упрочненных колонковых труб проводились на угольных и рудных месторождениях в породах 5 – 11 категорий с частотой их

вращения труб  $100 - 500 \text{ мин}^{-1}$  и искривлением оси скважины глубиной 1000 м до 40 – 45 град. Испытывались колонковые трубы длиной 3 – 4,5 м и «спаренные» длиной 7,5 – 8 м.

Методикой испытаний предусматривалась поочередная отработка упрочненных и неупрочненных колонковых труб по одной и той же скважине. Данные периодических замеров износа труб по длине записывались в журналы наблюдений.

Анализ замеров износа поверхности труб по диаметру при одинаковом числе оборотов колонковых труб в процессе бурения показывает, что при числе 1,8 млн оборотов величина износа упрочненных труб в 2 – 3 раза меньше, чем неупрочненных и составляет для неупрочненных труб 1,2 мм, а упрочненных – 0,6 мм.

С двумя неупрочненными трубами в скважине произошли поломки и они были сняты с испытаний, в одну из труб проник алмазный расширитель и часть резьбы колонковой трубы оторвалась. При этом алмазная коронка с расширителем остались на забое. После ликвидации аварии бурение продолжилось с помощью другой неупрочненной колонковой трубы, которая также оборвалась, примерно посередине, вероятно в результате ее перереза по телу оставшейся частью алмазного расширителя.

Неполадки имелись и при испытании трех упрочненных труб: на резьбовых концах двух из них образовались трещины, а на третьей – скол резьбы при навинчивании алмазной коронки и ударах молотком по трубе для ускорения ее навинчивания. При обследовании обнаружилось, что труба в этом месте имела сквозную закалку, которая произошла из-за недостаточного контроля за технологическим процессом.

При проведении производственных испытаний необходимо было выяснить вопрос о необходимости упрочнения резьбовой части колонковой трубы, так как толщина стенки в месте нарезки равна всего 2,1 мм. По условиям наилучшей механической прочности стенки трубы в месте нарезки резьбы рекомендуемое отклонение закаленного слоя к толщине закаливаемой стенки следует принимать в пределах 1:4 или 1:3, т.е. глубина (толщина) закаленного слоя в резьбовой части трубы должна быть в пределах 0,5 – 0,7 мм. Кроме того, по длине 50 – 60 мм от торца трубу после индукционной закалки необходимо подвергнуть высокому отпуску при температуре 630 – 650 °С. При этом образуется структура – сорбит отпуска с твердостью поверхности 27 – 34 НРС. Это позволяет повысить механическую прочность резьбовой части упрочненных колонковых труб, что предотвращает вдавливание переходника или коронки при расширении трубы во время бурения.

## **Выводы**

1. Упрочнение наружной поверхности колонковых труб с помощью индукционной закалки снижает их износ в 1,5 – 2,0 раза.

2. Колонковые трубы должны иметь сплошное упрочнение наружной поверхности до твердости 50 – 55 НРС и структуру – мартенсит отпуска, за ис-

ключением резьбовых концов, которые по длине 50 – 60 мм от торца должны иметь структуру – сорбит отпуска с твердостью поверхности 27 – 34 HRC.

3. Технология закалки и отпуска поверхности колонковых труб (сталь группы прочности Д, К) должна осуществляться при следующих режимах нагрева и охлаждения:

- температура нагрева 850 – 920 °С;
- охлаждающая жидкость – вода при температуре отпуска 20 – 30 °С;
- температура отпуска колонковых труб 220 – 240 °С;
- температура отпуска резьбовых концов длиной 50 – 60 мм 630 – 650 °С.

4. Толщина закаленного слоя наружной поверхности трубы и резьбовых концов должно быть 0,7 – 0,9 мм при твердости их поверхности 50 – 55 HRC и 27 – 34 HRC.

5. Высокая износостойкость колонковых труб, упрочненных методом ФРУО, объясняется тем, что диаметр из концов уменьшается на величину 0,15 – 0,20 мм от максимального, поэтому при работе колонковых труб в начальный период в скважине, когда наблюдается наибольшая интенсивность износа, упрочненный участок концов труб не контактирует со стенками скважины до тех пор, пока прилегающий упрочненный участок не износится. Только после этого в контакт вступает упрочненный ФРУО участок и износ обеих поверхностей, закаленных ТВЧ и упрочненных ФРУО, стабилизируется и будет в 2 раза меньше, чем в неупрочненной трубе.

6. Метод ФРУО осуществим в ремонтно-механических мастерских геологоразведочных экспедиций.

### Список литературы

1. Батурин Ю.И., Лачинян Л.А., Литвинов Н.Н. Поверхностное упрочнение бурильных труб с помощью токов высокой частоты.// Разведка и охрана недр. – 1962. – № 4. – С 5 –12.
2. Бень Т.Г., Шимацкая Р.В. Экономическая эффективность упрочнения бурильных геологоразведочных труб.// Металлург. и горноруд. про-ть. – 1969. – № 4. – С. 7 – 11.
3. Лачинян Л.А. Работа бурильной колонны. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1992. – 214 с.
4. Металловедение и термическая обработка стали. Справ. изд.: В 3-х т. Т.2. Основы термической обработки. / Под ред. М.Л. Бернштейна, А.Г. Рахштадта. – 3-е изд. переработ. и доп. – М.: Металлургия. 1983 – 368 с.
5. Карпенко Г.В. Упрочнение стали механической обработкой. – К.: Наук. думка, 1966. – 203 с.
6. Первеев Л.С., Нор В.В. Влияние жесткости колонковых снарядов на кривизну скважин.// Инфом. сообщ. Сер. Техника и технология геологоразведочных работ; организация пр-ва, ВИЭМС. – 1969. – №73. – 12 с.
7. Jan Pinka, Marina Sidorová, Nikolaj Andrejevic Dudla. Vrtné Súpravy a ich diagnostikovanie. – Kosice, 2009. – 175 s.
8. Jan Pinka, Gabriel Wittenberger, Marina Sidorová. Evolution of geothermal potential in the surroundings of Košice town, Slovakia// The 4<sup>th</sup> International Conference Collection of Abstracts: Special Methods of Deposit Utilization. – Ostrava, – 2009. – S.179–186.