

# 俄罗斯油气智能井钻采技术系统分析

汤凤林<sup>1,2</sup>, 赵荣欣<sup>1</sup>, 周欣<sup>3</sup>, 段隆臣<sup>2</sup>, ЧИХОТКИН В.Ф.<sup>2</sup>

(1.上海市建筑科学研究院有限公司,上海 200032; 2.中国地质大学(武汉)工程学院,湖北 武汉 430074;  
3.湖北省地震局,湖北 武汉 430064)

**摘要:**目前世界上石油天然气资源竞争日趋激烈,开采速度迅速上升,钻采投入费用上涨,急需创新技术。俄罗斯提出了智能井及其钻采技术,这是一个创新技术,在许多油田推广使用,取得了很好的技术经济效果。这种创新技术不仅是一系列采油自动控制系统的仪器和传感器的组合,或是石油产品的运输工具,利用这种技术方法可以保证商业的最大利益和生产安全,可以减少开采石油需要的井眼数量,降低地面设备的费用,减少消除井内干扰需要的费用,提高石油的开采速度,增加石油的产量。这是一种经实践证明成功的创新技术系统,值得我们借鉴。

**关键词:**石油天然气资源;钻采费用;智能井钻采系统;自动控制系统;俄罗斯

**中图分类号:**P634; TE24 **文献标识码:**A **文章编号:**2096-9686(2022)04-0008-06

## Analysis of the drilling and production technology system of oil and gas intellectual wells in Russia

TANG Fenglin<sup>1,2</sup>, ZHAO Rongxin<sup>1</sup>, ZHOU Xin<sup>3</sup>, DUAN Longchen<sup>2</sup>, CHIKHOTKIN V.F.<sup>2</sup>

(1.Shanghai Institute of Building Sciences Limited Company, Shanghai 200032, China;

2.Faculty of Engineering, China University of Geosciences, Wuhan Hubei 430074, China;

3.Hubei Earthquake Agency, Wuhan Hubei 430064, China)

**Abstract:** In the world now competition for oil and gas resources is getting intense day by day. Their production speed is increased quickly, and expenses for drilling and production of oil and gas are sharply raised. In order to resolve above-mentioned problems, it is necessary to develop and use innovation technology. In Russia, the intellectual well, and the drilling and production technology have been developed with good technical and economic results obtained. The innovation technology is not only a combination of instruments and sensors of the automatic production control system or transportation means of oil products, but also is a technical method. Use of the method can guarantee the maximum of commercial benefit and production safety, cut down the number of oil production wells, reduce expenses for ground equipment, reduce expenses for elimination of well intervention, and increase oil production speed and volume. This is a successful innovation technology, proven by practice; therefore, it has some reference value for us.

**Key words:** oil and gas resources; expenses for drilling and production; intellectual well and system; automatic control system; Russia

## 0 引言

近年来,石油天然气开采量迅速增加,钻井公司希望降低开采成本,导致必须考虑使用智能井钻采新技术。在全世界,采用智能井技术(intelli-

gent well technology)已经成了开采海上和大陆架高利润油气田的标准技术,而且有进入开采中等利润和低利润油气田的趋势<sup>[1-3]</sup>。

智能井钻采技术通常包括2个组成部分,即智

收稿日期:2021-12-02; 修回日期:2022-06-06 DOI:10.12143/j.ztgc.2022.04.002

基金项目:国家自然科学基金面上项目“液冲冲击回转作用下热压WC-CU基孕镶金刚石钻头的磨损行为研究”(编号:D0219,2019-2022)

第一作者:汤凤林,男,汉族,1933年生,教授,博士生导师,俄罗斯工程院外籍院士、俄罗斯自然科学院外籍院士、国际矿产资源科学院院士,探矿工程专业,主要从事探矿工程方面的教学和科研工作,fttang\_wuhan@aliyun.com。

引用格式:汤凤林,赵荣欣,周欣,等.俄罗斯油气智能井钻采技术系统分析[J].钻探工程,2022,49(4):8-13.

TANG Fenglin, ZHAO Rongxin, ZHOU Xin, et al. Analysis of the drilling and production technology system of oil and gas intellectual wells in Russia[J]. Drilling Engineering, 2022, 49(4): 8-13.

能井(我们定名为 intellectual well, 国外有人称之为 smart well 或 умная скважина)本身和智能分析(intelligent analysis)部分——研究从井内仪器和传感器得到的资料,以便使油气田开采最优化。智能井技术一般包括有:布置压力、温度和振动传感器的光纤系统;位于地上和井内的执行、测量和记录装置;创新的封隔—锚定装置,其中包括同时—分别的采油技术;现代的可以控制油气开采过程、进行修井和提高各层产量工艺过程的智能工作站。智能井应有一整套地上和井内设备,包括有装在嵌入式遥测系统(装在嵌入式电动机中)转速转换的控制站,可以实时得到有关水泵设备的工作参数,等<sup>[4-5]</sup>。

俄罗斯非常重视这种创新技术,特别是智能井完井技术的研究。这种技术不仅应用到单口井的钻井中,而且已应用到整个油气田,使其成为智能油气田。俄罗斯正在大力应用和推广这种新技术,并取得了很大的技术和经济效益<sup>[4-21]</sup>。

### 1 智能井设备概述<sup>[10-11]</sup>

智能井井内设备包括有:出油套管、采油管、控制油气进入采油管的装置、封隔器(Packer)和温度、压力传感器,见图1。

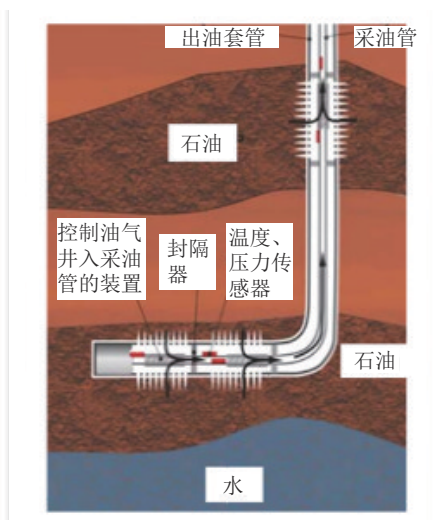


图1 智能井井内设备示意

Fig.1 Downhole equipment in the intellectual well

智能井钻井工艺的基础是利用由地表控制的带有集成传感器的油井阀门,来调节由各个油区或两侧井筒来的油量和利用井内温度、压力传感器来进行钻井的,见图2。井底钻具如图3所示。

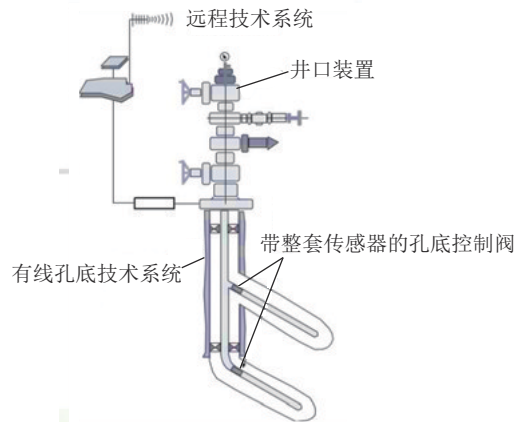


图2 智能井控制原理示意

Fig.2 Control principle of the intellectual well

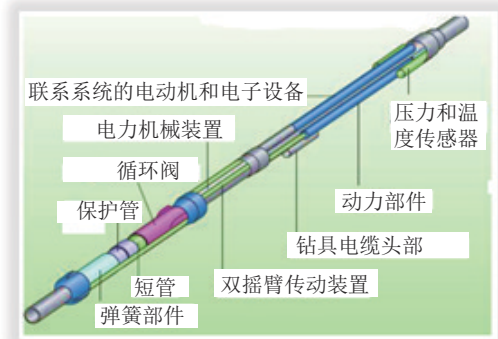


图3 井内钻具组成示意

Fig.3 Downhole drilling tools

### 2 智能井的分级<sup>[5]</sup>

目前,智能井分为5级,其特点分别是:

第一级智能井装有控制油气进入的装置,但是没有从地面来的控制电缆。控制油气进入的装置,在压力或温度达到一定数值时开始工作。

第二级智能井是既有控制油气进入的装置,也有从地面来的控制电缆。用来控制气驱井,或控制由不同开采区/注入区来的油气流。

第三级智能井装备有大量的油气进入数量控制装置、控制系统和操作系统。

第四级智能井装备有复杂的油气进入数量装置、井内系统和大量的开采区/注入区管理装置。

第五级智能井装备有专门的井中检测系统、分析流体成分的多相流量计或传感器。

此外,也可能有蛇形智能井和龙形智能井。蛇形井是指水平完井的油井像一条蛇,沿着油层或多

个油层开采高产油区打的智能井。龙形井是蛇形智能井的一种形式,是垂直油层走向、围绕自身轴线回转90°打的智能井,见图4。

### 3 智能井应用实例

#### 3.1 大面积覆盖储层的智能井

墨西哥海湾哈拉德赫(Харадх)油田使用的A12完井智能井见图5,包括有直径7 in(1 in=25.4 mm,下同)的水平尾管、未下套管的水平井段和直径4½ in的尾管。从直径7 in的尾管中,还打了2个分叉井,均是裸眼完井。其优点是在多井筒钻井的覆盖储层的面积最大,而且油量调节系统和井内测量系统保证了哈拉德赫(Харадх)油田的窜水量大

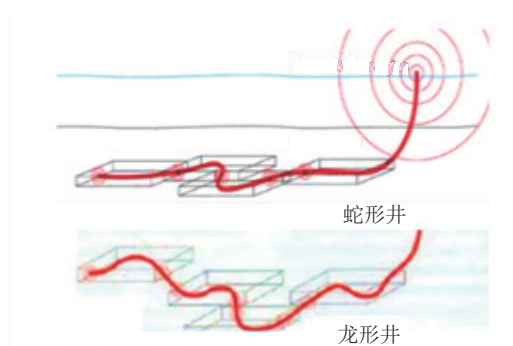


图4 蛇形智能井和龙形智能井

Fig.4 Snake and dragon form intellectual wells

为减少<sup>[6]</sup>。

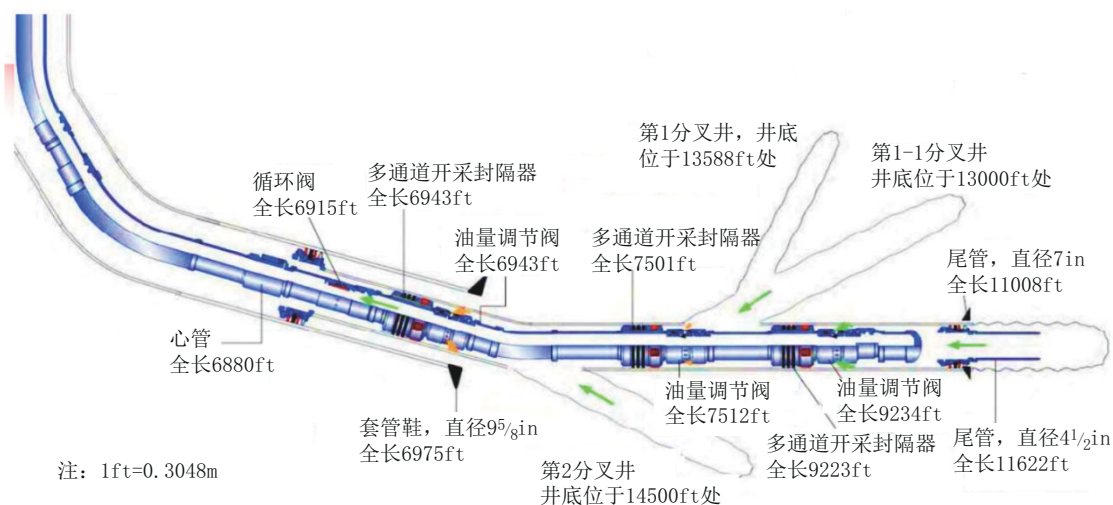


图5 最大覆盖储层的智能井A12

Fig.5 Intellectual well A12 with the maximum reserve covering area

图6是储层同时开采和先后开采对比图。图6中的红色曲线代表同时开采;蓝色曲线代表先、后开采的情况。可见,同时开采的石油开采量比先、后开采的开采量高出28%左右。

#### 3.2 自动化智能井

俄罗斯萨雷姆(Салым)油田为了有效开采石油矿藏,采用了自动化智能井。采用这种智能井可以同时开采2个采油油层。使用这种智能井所采用的井内自动化设备,可以保证实时收集开采参数或注水参数,并将其传到地表。智能井技术可以实时分别计算各层的开采量,并调节注入井注入各层的注水量。注水是通过注水井将水注入油层,保持油层压力,提高采油速度和采收率的一种措施。自动

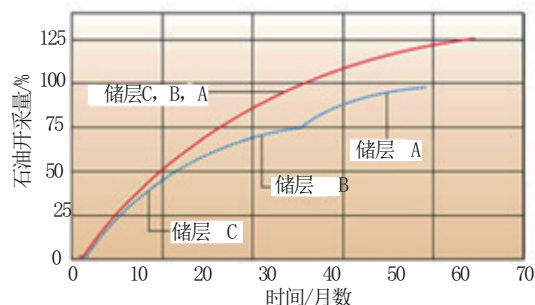


图6 同时开采和先后开采的产能对比

Fig.6 Yield comparison between simultaneous production and successive production

化开采智能井和自动化注水智能井如图7所示<sup>[6]</sup>。

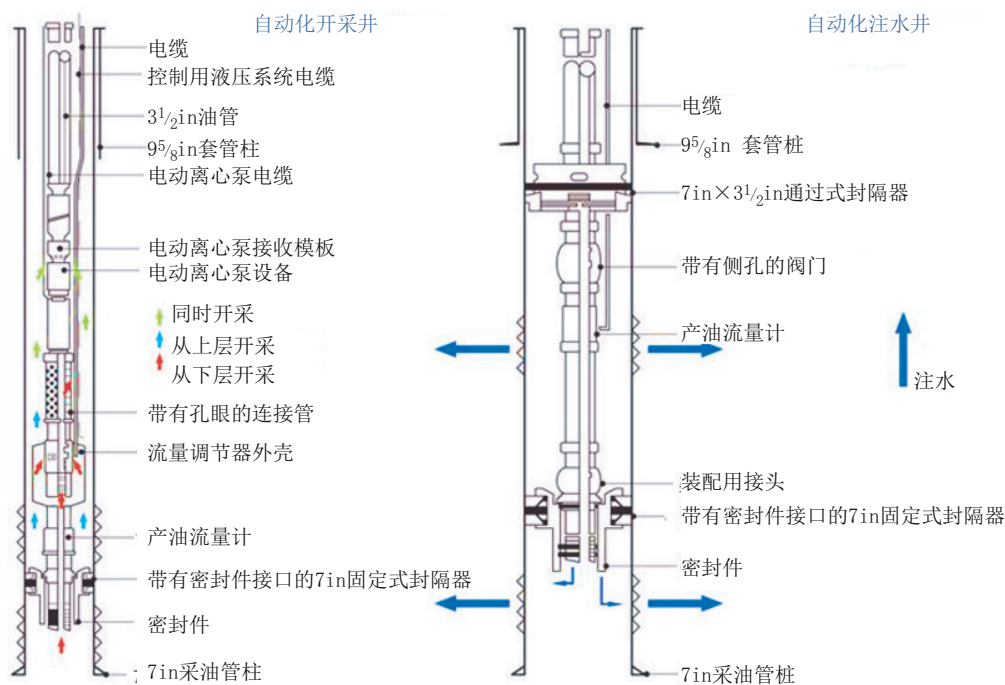


图 7 自动化采油智能井和自动化注水智能井示意

Fig.7 Automated intellectual well for oil production and automated intellectual well for water flood

过去井内设备是不能完成自动化工作的,必须完成附加工作才能确定哪层出油和向哪层注水。此外,还要进行昂贵的修井工作。从经济和生态方面考虑,使用智能井可以减少丛式井的数量和油田内部基本设施建设的数量,以及还可以满足保矿部门的法律要求等。

### 3.3 Vall Hall 油田智能井钻采控制系统

这种石油天然气钻采控制系统包括钻采系统(见图 8a)和控制系统(见图 8b)<sup>[4-8]</sup>。

### 3.4 智能井的使用与推广

目前,俄罗斯鞑靼石油股份公司正在使用并大力推广智能井,即使用地下智能井艾列克顿(Электон)和地上智能井 Lufkin automation。智能井的使用和推广,是阿兹纳卡耶夫(Азнакаев)石油开采企业利用 Lufkin automation 控制器进行的<sup>[6]</sup>。

利用上述这个控制器在给定井底压力条件下,保证了取得最大的采油量,减少了地面设备和地下设备的故障次数,提高了查明和消除故障的能力,提供了工作和停滞时间的可靠信息,因而提供了一昼夜产量的可靠信息,提高了开采系数,减少了推广和服务的费用,建立了完整的数据库,提高了分析工作的有效性和质量,把项目的管理和执行资源整合

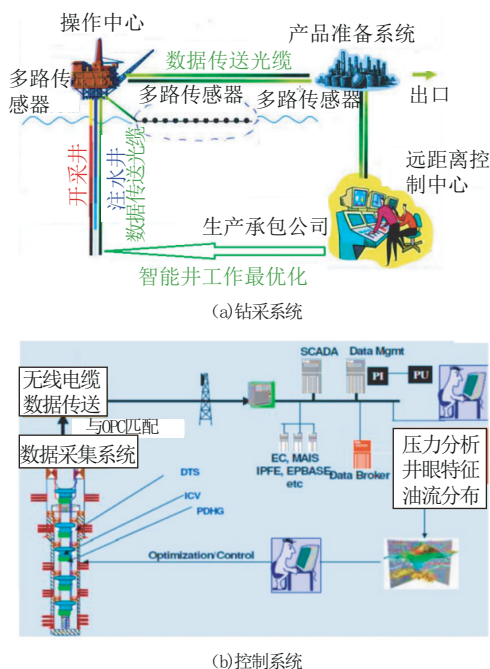


图 8 油田智能井钻采和控制系统示意

Fig.8 Drilling and production system, and control system of intellectual wells in oilfield

起来。

在多次修井的钻井中,使用智能井的结果如下:

- (1)智能井的开采系数从0.865提高到0.91;
- (2)通过井底压力最优化,增加了石油产量;
- (3)电能消耗降低了4%;
- (4)与非智能井比较,智能井的钻井单位消耗降低5%,石油产量增加1%。

阿兹纳卡耶夫(Азнакаев)石油开采企业在常常修井的油井中,安排了100套设备,投入了28亿卢布,即每口井投入了280万卢布。石油产量增加量为60 t/昼夜,用0.42 y的时间即可收回。总的平衡利润为8700余万卢布,其中由于推广智能井取得的纯利润为5300余万卢布,这是巨大的经济效益。

使用这种控制器的经济效益见表1。

表1 使用控制器的经济效益

Table 1 Economic results from use of controllers

内容	数值
使用的控制器数量	100台
推广使用Lufkin automation的费用	$28.342 \times 10^6$ 卢布
工作参数最优化费用	$14.830 \times 10^6$ 卢布
石油产量增加数量	60 t/d
收回年限数量	0.42 y
由于收回年限减少带来的收入指数	2.02
收入年限减少带来的投资收入指数	9.64
平衡利润	$87.321 \times 10^6$ 卢布
纯利润	$53.079 \times 10^6$ 卢布

#### 4 智能井的经济效益

研究和实践证明,使用智能井可以取得较好的经济效益,用于消除井内干扰费用降低5%,用于井下的费用降低13%,用于地面设备的费用降低22%,产量增加7%,石油开采总量增加53%,见图9<sup>[6-9]</sup>。

现在,一般使用智能井的经济效益为(300~500)×10<sup>6</sup>卢布左右,其中附加值为25%~30%左右。由此可见,石油公司都希望使用智能井完井技

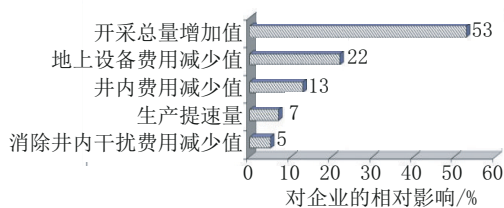


图9 智能井应用效果

Fig.9 Intellectual well application results

术,原因有:(1)减少了开采石油需要的井眼数量;(2)减少了地面设备的费用;(3)减少了消除井内干扰需要的费用;(4)由于可以到达大量产油层而加速了石油的开采速度;(5)由于可以更好地控制油藏而增加了石油的产量(见图10)<sup>[6-8]</sup>。

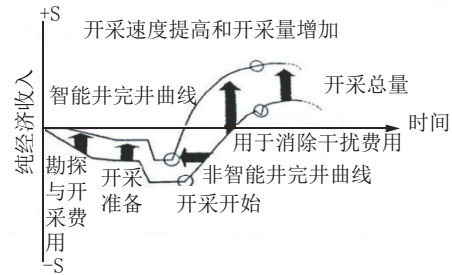


图10 智能井完井和非智能井完井效果对比

Fig.10 Results comparison between intellectual wells and non-intellectual wells

鞅石油股份公司计划把该公司所有油田都推广使用智能井,然后,在该地区全面推广<sup>[6-9]</sup>。

由此可见,智能井技术不仅是一套采油自动控制系统的传感器的组合或石油产品的运输工具,而且是一种技术方法,利用这种方法可以评价系统的质量状态,实时给出存在问题的答案,保证商业的最大利益和生产安全。

#### 5 结论和建议

根据上述资料,经分析可得出如下结论,并提出一些建议:

(1)世界上石油天然气资源竞争激烈,开采量急剧增加,钻采投入费用大幅上涨,急需创新技术。俄罗斯使用智能井这种创新技术,取得了很好的技术经济效果。智能井技术一般包括有:布置、安排压力、温度和振动传感器的光纤系统;位于地上和井内的执行、测量和记录装置;创新的帕克-锚定装置,其中包括同时-分别的采油技术;现代的可以控制油气开采过程、进行修井和提高各层产量工艺过程的智能工作站。

(2)这种创新技术不仅是一系列采油自动控制系统的仪器和传感器的组合,或石油产品的运输工具,而且是一种技术方法,利用这种方法可以保证商业的最大利益和生产安全,可以减少开采石油需要的井眼数量,降低地面设备的费用,减少消除井内干

扰需要的费用,提高石油的开采速度,增加石油的产量。

(3)注水是通过注水井将水注入油层,保持油层压力,以提高采油速度和采收率的一项重要措施。俄罗斯萨雷姆(Салым)油田为了有效开采石油矿藏,采用了自动化智能井,包括自动化开采井和自动化注水井。采用这种智能井可以同时开采2个采油油层。使用这种智能井所采用的井内自动化设备,可以保证实时收集开采参数或注水参数,并将其传到地表。可以实时分别计算各层的开采量,并调节注入井内各层的注水量。

(4)实践证明,利用智能井完井可以最大限度地覆盖储层,同时开采油层,使其与先、后开采油层比较,产量提高了28%。

(5)俄罗斯在石油天然气钻采方面利用智能井技术做了大量工作,取得了很好的技术经济效果,对于我国油气钻井和开采,乃至地质钻探的创新发展或有一定的启发和参考价值。

我国油气钻井和开采方面,在智能井研究方面已有一定进展。但是,在地质钻探方面研究不够,建议对此进行研究并尽快使用这种智能井钻井技术和工艺。

#### 参考文献(References):

- [1] 胡郁乐,张惠,王稳石,等.深部岩心钻探关键技术[M].武汉:中国地质大学出版社,2018.  
HU Yule, ZHANG Hui, WANG Wenshi, et al. Key Technologies in Deep Core Drilling [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 2018.
- [2] 朱恒银,王强,杨凯华,等.深部岩心钻探技术与管理[M].北京:地质出版社,2014.  
ZHU Hengyin, WANG Qiang, YANG Kaihua, et al. Deep Core Drilling Technology and Management [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2014.
- [3] В. В. Кульчицкий. Геонавигационные технологии проводки наклонно направленных и горизонтальных скважин [M]. Москва: Издательство ОАО, ВНИИЭНГ, 2000.
- [4] Еремин А. Н. О типах и видах умных скважин [J]. Научный журнал РГО, 2013(6): 124-126.
- [5] Емерен Н. А. Современное состояние и перспективы развития интеллектуальных скважин [R]. 3-я международная научно-практическая конференция, Интеллектуальное месторождение: инновационные технологии от скважины до магистральной трубы, 2015: 19-24. октября, г. Сочи.
- [6] Гаричев С. Н., Еремин Н. А. Технология управления в реальном времени [M]. Москва: Издательство МФТИ, 2015.
- [7] Garichev S.N., Eremin N.A. Technology of Management in Real Time [M]. Moscow: The Moscow Institute of Physics and Technology (State University), 2013.
- [8] Alekxander N., Nikolai A. Smart Fields and Wells [M]. Almaty: The Publishing Center of Kazakh-British Technical University (KBTU) JSC, 2013.
- [9] Еремин Н. А., Еремин А. Н. Управление разработкой интеллектуальных месторождений [M]. Москва: РГУ нефти и газа имени И. М. Губкина, 2012.
- [10] Еремин Н. А. Управление разработкой интеллектуальных месторождений [M]. Москва: РГУ нефти и газа имени И. М. Губкина, 2011.
- [11] Еремин Н. А. Современная разработка месторождений нефти и газа. Умная скважина. Интеллектуальный промысел. Виртуальная компания [M]. Москва: Издательство ООО, Недр Бизнес центр, 2008.
- [12] Н., В. Есауленко. Частные датчики в бурении [M]. Издательство, Астраханский государственный технический университет, Россия, г. Астрахань. 2012.
- [13] В. Н. Есауленко, Н. В. Есауленко. Аэродинамические измерительные преобразователи для телеметрии забойных параметров при бурении скважины [M]. Издательство, Астраханский государственный технический университет, Россия, г. Астрахань, 2010.
- [14] В. Н. Есауленко, Н. В. Есауленко. Механические измерительные преобразователи для систем телеметрии забойных параметров [J]. Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности, 2009(7): 4-7.
- [15] В. Н. Есауленко, А. М. Дегтярева, Н. В. Есауленко. Устройство для измерения зенитного угла искривления ствола скважины № 2285797 [P]. Российская Федерация, МПК E21B47/022. опублик. 20.10.2006. Бюл. №29.
- [16] В. Н. Есауленко, А. М. Дегтярева, Н. В. Есауленко. Устройство для измерения зенитного угла искривления ствола скважины № 2349750 [P]. Российская Федерация, МПК E21B47/022. опублик. 20.03.2009. Бюл. №8.
- [17] Н. Есауленко, А. М. Дегтярева, Н. В. Есауленко. Устройство для измерения температуры в скважине № 2381361 [P]. Российская Федерация, МПК E21B47/06. опублик. 10.02.2010. Бюл. №4.
- [18] В. Н. Есауленко, А. М. Дегтярева, Н. В. Есауленко. Устройство для определения параметров искривления в скважине № 2468201 [P]. Российская Федерация, МПК E21B47/06. опублик. 27.11.2012. Бюл. №33.
- [19] Шевченко М. А. Датчик азимута искривления скважины [J]. Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности, 2011(7): 2-3.
- [20] Шевченко М. А. Имитационная модель комбинированного канала связи для телеметрии забойных параметров в процессе бурения скважины [C] // 4-ая всеросс. науч.-практ. конф., 2013(11): 136-138.
- [21] Шевченко М. А. Применение струйных элементов для коммутации датчиков скважинной телеметрической системы [J]. Нефтяное хозяйство, 2013(11): 124-126.

(编辑 李艺)