

# ОТРАСЛЕВОЙ ЗАКОН О ПРОМЫШЛЕННОЙ ПОЛИТИКЕ ПРЯМОГО ДЕЙСТВИЯ ДЛЯ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ – НЕОБХОДИМОЕ УСЛОВИЕ СОЗДАНИЯ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ТЕХНОЛОГИИ «ЦИФРОВОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ»

## «INDUSTRIAL POLICY» LAW IMPLEMENTATION IN RUSSIAN OIL AND GAS INDUSTRY – AN INDISPENSABLE CONDITION FOR WORKING OUT HOME «DIGITAL OILFIELD» TECHNOLOGY

**В.Б. Бетелин**, директор Института системных исследований Российской академии наук, академик Российской академии наук, профессор, д.ф.-м.н., член Президиума Российской академии наук, член Бюро Отделения нанотехнологий и информационных технологий Российской академии наук, член Совета директоров институтов РАН, член НТС военно-промышленной комиссии при Правительстве Российской Федерации, член НТС ОАО «Российская корпорация нанотехнологий», член Совета генеральных и главных конструкторов, ведущих ученых и специалистов в области высокотехнологичных секторов экономики при Председателе Правительства Российской Федерации, член Российского национального комитета по индустриальной и прикладной математике, член консультативного научного совета некоммерческой организации «Фонд развития Центра разработки и коммерциализации новых технологий» («Сколково»)

**С.Г. Вольпин**, заведующий отделом гидродинамических исследований и моделирования в нефтегазовой отрасли (Научно-исследовательский институт системных исследований РАН), кандидат технических наук;

**V. B. Betelin**, Director of Scientific Research Institute for System Studies of Russian academy of sciences, academician of Russian academy of sciences, professor, Doctor of Science (Phys.), member of Presidium of Russian academy of sciences, member of Bureau Department of nanotechnologies and information technologies of Russian academy of sciences, member of Council of directors of Russian academy of sciences, member of Scientific & technical council of armored & industrial commission at the Government of Russian Federation, member of Scientific & technical council of ROSNANO, member of Council of general & chief designers, leading scientists & specialists in the field of high-tech sectors of economy at the Chairman of Government of Russian Federation, member of Russian national committee for industrial & applied mathematics, member of consult scientific Council of non-commercial organization «Fund of development of Centre for design & commercialization of new technologies» («Сколково»),

**Sergey G. Volpin**, Head of the Department of well tests and simulation in the oil and gas industry (Scientific Research Institute for System Studies of RAS), Candidate of Engineering Sciences

В статье отмечается, что сохранение контроля над сегментом мирового энергетического рынка, достаточно для обеспечения устойчивого социально-экономического развития России в третьем тысячелетии, является ключевой стратегической проблемой. Решить эту проблему без создания собственных суперкомпьютерных технологий экзафлопсного класса невозможно.

Необходимым условием решения этой стратегической проблемы является создание принципиально новой технологии контроля и управления процессами разработки месторождений («цифровое месторождение»), основанной на использовании постоянно обновляемой суперкомпьютерной геолого-гидродинамической модели месторождения.

Создание и внедрение технологии «цифровое месторождение» позволит обеспечить извлечение дополнительно не менее 10-20 млрд. тонн нефти из трудноизвлекаемых запасов (целики нефти, низкопроницаемые пласты, баженовская свита).

*It is mentioned that the key strategic task for Russia in XXI century consists in providing control of such world energy market sector, which would be sufficient for stable social-economic development of the country. This problem cannot be solved without working out Russian exa-flops supercomputer technologies.*

*An indispensable condition for achieving this goal is to work out in Russia the essentially new technology of monitoring and controlling field development (“Digital field”). “Digital field” technology is based on the continuous upgrading of supercomputer geologic-hydrodynamic field model.*

*Creation and implementation of “Digital field” technology would result in not less than 10 – 20 bln tones of additional oil production from resources whose production is problematic (zones with residual oil within flooded parts of oil field, low permeable layers, Bazen suite).*



Бетелин В.Б. / Vladimir B. Betelin



Вольпин С.Г. / Sergey G. Volpin

#### Ключевые слова:

цифровое месторождение, предсказательное моделирование, поле давлений, поле насыщенности, гидродинамическая модель, суперкомпьютерные технологии, инновационная деятельность, технологическая конкурентоспособность.

### I. Суперкомпьютерные технологии – один из ключевых факторов конкурентоспособности отечественной нефтегазовой отрасли

Согласно Концепции «2020», стратегической целью долгосрочного социально-экономического развития России является достижение уровня экономического и социального развития нашей страны (а, следовательно, и ее регионов) как ведущей мировой державы XXI века, входящей в пятерку стран-лидеров мирового рынка. Это, в частности, означает, что к 2020 г. основные показатели отечественных компаний реального сектора экономики России, и прежде всего ее нефтегазовой отрасли, такие как выработка на человека, средняя заработная плата, число рабочих мест, контролируемая доля мирового рынка, должны быть соизмеримы с аналогичными показателями компаний-лидеров мирового рынка.

В настоящее время в США интенсивно развиваются альтернативные технологии добычи углеводородов из низкокалорийного сырья, каким являются сланцевый газ, сланцевая нефть, битуминозные пески и т.д., а также технологии получения топлива из этого сырья, включая разработку режимов эффективно и малоотходного горения этого топлива в камерах сгорания.

Поскольку запасы низкокалорийного сырья существенно превышают запасы высококалорийного и имеются практически во всех странах, создание таких технологий неизбежно приведет к существенному сокращению объемов потребления, а, следовательно, и добычи высококалорийного сырья в пользу низкокалорийного. Другими словами это приведет к масштабному переделу мирового энергетического рынка, в пользу других стран, и существенному снижению доли этого рынка, контролируемой традиционными поставщиками высококалорийного углеводородного сырья, включая и Россию.

**Необходимым условием** сохранения контроля над сегментом мирового энергетического рынка, достаточного для обеспечения устойчивого социально-экономического развития страны является **технологический паритет** отечественных предприятий нефтегазовой отрасли с **лидерами мирового рынка**. **«Цифровое месторождение»** – это одна из ключевых технологий, требующая этим предприятиям для поддержания такого паритета. Суть этой технологии в непрерывном циклическом процессе накопления информации от всех доступных источников и **предсказательном моделировании**, на этой основе, изменения **конфигурации поля давления, поля насыщенности месторождения** на различных пространственных уровнях (скважина, группа скважин, месторождение) в результате динамических воздействий различных типов (механические, тепловые, химические). При этом непрерывно должна решаться и **обратная задача** – уточнение параметров пласта, его строения и энергетики с целью выбора, контроля и анализа результатов воздействия для получения **заданной конфигурации поля давлений**. То есть, в конечном счете, обеспечение возможности динамического поддержания такой конфигурации поля давлений в пласте на всех пространственных уровнях, которая в каждый момент времени обеспечивает максимальный объем извлекаемой нефти.

Поиск оптимальной конфигурации поля давлений пласта включает три этапа.

#### Key words:

*digital field, predictive modeling, pressure distribution, saturation distribution, hydrodynamic model, supercomputer technologies, innovation activity, technological compatibility.*

### I. Supercomputer technologies – one of key factors for securing a competitiveness of home oil and gas industry

In accordance with «Concept 2020» - the strategic goal of Russia social-economic development is to achieve such social-economic level of the country (and regions as well) which will correspond to its position as one of Grate Powers in XXI century, one of five leading countries on the world market. In particular, this means that by 2020 main indices of home companies in real sector of economy, first of all, in oil and gas industry (such as per capita output, average wage, number of workplaces, part of world market under control) should be compatible with analogous indices values of leading world companies.

Nowadays the new technologies are developed intensively for production and processing of low effective hydrocarbons - such hydrocarbons as shale gas and oil, tight gas and oil, bitumen sands, etc., including finding out effective and low waste regimes of fuel burning in combustor chambers. (Effectiveness of hydrocarbons is measured by ratio of energy amount received from a fuel to energy amount spent during its production and development).

The low effective crude can be found practically in any country, and its reserves considerably exceed reserves of high effective ones. So, the future development of above-mentioned technologies will inevitably result in significant cutting-off high effective crude consumption and production and in growing of low effective crude relative contribution. In other words, this will result in dramatic re-division of the world energy market and in considerable shortening of world market sector controlled by traditional high effective crude suppliers, including Russia.

**To have technical parity with foreign world market leaders is an indispensable condition** for home oil and gas producing companies' ability to control such world energy market sector, which would be sufficient for stable Russia social-economic development.

**«Digital oil field»** is one of key technologies needed by home companies to achieve and support such parity.

The essence of this technology consists in:

- continuous periodical gathering and accumulating of all information from all sources available,
- **predictive modeling of pressure and saturation distribution on the field**, based on accumulated information, including:
  - ✓ **predictive modeling** on different spatial levels (well, group of wells, whole field),
  - ✓ **predictive modeling** for all planned or realized types of formation stimulation during production (mechanical, thermal, chemical).

Meantime the **inverse problem** should be continuously solved. This means – to specify formation structure, parameters and energy status in order to choose, control and analyze the simulation results and – **as a final goal – to obtain the desirable pressure and saturation distribution**. Finally, the aim is to support in dynamic manner such pressure and saturation distributions in the formation, which would provide the desirable production parameters (rate of production, cumulative production, water cut, recoverable factor, etc.).

На первом этапе решается обратная задача – на основании первичных данных (давление, температура, дебит, обводненность и т.д.), получаемых от телеметрических систем (ТМС) в работающих скважинах, восстанавливается структура и характеристики пласта в их окрестности с радиусом от десятков до сотен метров.

Далее, на втором этапе, решается прямая задача – моделируется текущая конфигурация поля давления месторождения, определяющая текущее значение дебита скважин. Для этого с помощью суррогатных моделей определяется конфигурация поля давлений в окрестности скважин. И первичные данные, и результаты их обработки сохраняются в базе данных месторождения. Конфигурация поля давлений для группы скважин получается путем «сшивания» конфигураций полей отдельных скважин, входящих в группу, результат, которого также сохраняется в базе данных месторождения. Аналогичным образом с помощью сложной гидродинамической модели формируется конфигурация поля давлений всего месторождения. На основе этих результатов корректируются геологическая и гидродинамическая модели пласта.

Цифровое месторождение предполагает непрерывное моделирование новых технологических решений и оперативное принятие решений по управлению процессом разработки месторождения с целью повышения нефтеотдачи. При этом должно происходить непрерывное обновление геолого-гидродинамической модели месторождения с учетом непрерывного поступления новой информации о пласте и скважинах и происходящих в них процессах.

На заключительном, третьем этапе определяется комплекс динамических воздействий на пласт, которые преобразуют текущую конфигурацию поля в ту, которая обеспечивает заданный дебит всех его скважин.

Поиск такой оптимальной конфигурации существенно основывается на технологии многовариантного предсказательного моделирования отклика месторождения на динамические воздействия на пласт на вычислительных системах высокой и сверхвысокой производительности. Так, например, по оценкам специалистов, время расчета одного варианта термогазового воздействия на пласт для месторождения с запасами около 30 млн. тонн составляет более 4 000 часов на супер-ЭВМ петафлопсного класса, что очевидно свидетельствует о том, что суперкомпьютерные технологии являются одним из ключевых факторов конкурентоспособности отечественной нефтегазовой отрасли. [1, 2]

Достоверность результатов моделирования отклика месторождения прямо зависит как от числа скважин, в которых установлены телеметрические системы, так и от точности измерения полученных с их помощью первичных данных. Так, для проведения гидродинамических исследований скважин разрешающая способность телеметрической системы при измерении давления должна быть не хуже 0.01 атм. Данные от всех обустроенных скважин поступают в центр анализа и моделирования, в котором производится восстановление структуры и характеристик пласта: в окрестности каждой скважины - с интервалом в месяц, для группы скважин – с интервалом в два месяца, и для всего месторождения – один раз в квартал.

Для уровней скважина и группа скважин решение прямой и обратной задачи должно обеспечиваться программным комплексом, аналогичным продуктам компании КАППА-ИНЖИНИРИНГ.

Finding of such (say, optimal) pressure and saturation distributions in the formation consists of three stages.

On the first stage the **invers problem** is solved – structure and parameters of the formation are determined in the vicinity of production wells; investigated zones have radius from dozens to hundreds meters from each well. This is done on the basis of data (temperature, inflow, water cut, etc.), measured in each production well by telemetric systems.

Further, on the second stage, the **direct problem** is solved – computer simulation and calculation of current pressure and saturation distributions, which determine the current inflow value in each well. In vicinities of production wells this is done by using simplified, so called, «surrogate» models. Measured data and results of modeling for each well are kept in the full database of the whole field information.

Pressure and saturation distributions for group of wells can be obtained by seaming distributions in the vicinities of wells belong to group under consideration. These results are also kept in the full database of the whole field.

Pressure and saturation distributions for the whole field are found in an analogous manner but by using the complex hydrodynamic model instead of surrogate one.

Based on these results geological and hydrodynamic models of the field could be corrected for further analysis.

The «Digital oilfield» concept supposes that for given field production control and decision-making are done continuously, including on-line simulation of new technological variants. One of the main goals on this way might be maximization of recoverability factor. Mandatory part of the approach is the continuous upgrade of oilfield geological and hydrodynamic models. This upgrade is based on a continuous flow of information about parameters and processes in wells and formation.

On the final, third stage **necessary stimulations are determined** in order to transform the existing pressure and saturation distributions to new ones which could provide the desirable production parameters. These new distributions can be considered as optimal ones.

Such optimal distributions finding is based to great extent on the formation response to certain dynamic stimulations. This response is determined by multi-variant prediction modeling which needs computer systems of high and ultra-high calculating capacity. For example, according to some estimates, if «high pressure air injection» method is applied on the field with recoverable proved reserves about 30 mln tones than simulation of one variant only needs more than 4000 hours on peta-flops super-computer.

This shows that supercomputer technologies are one of key factors in securing competitiveness of home oil and gas industry [1, 2].

Formation response modeling reliability depends on the number of wells equipped with telemetric systems and on the accuracy of measurements. For example, during well-testing the pressure measurements should be provided with the resolution not worse than 0, 01 atm (!).

Data from all wells are transferred to a special Center for analysis and modeling. In this Center the structure and parameters of the formation are evaluated periodically: in the vicinity of each well - monthly, for group of wells – every two month, for the whole field – quarterly.

For levels «well» and «group of wells» direct and inverse problems should be solved by using software not worse than

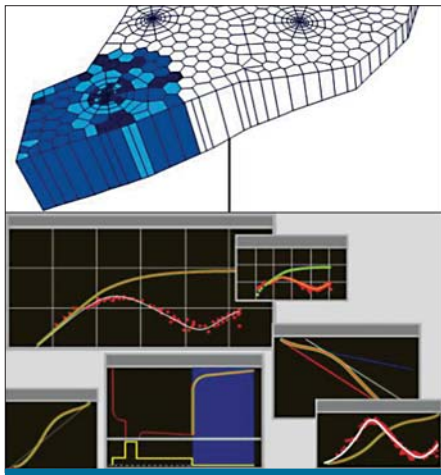


Рис. 1. Обработка и анализ кривых изменения давления и дебита в скважине во времени.

Fig. 1. Processing and analysis of pressure and inflow vs. time in investigated well.

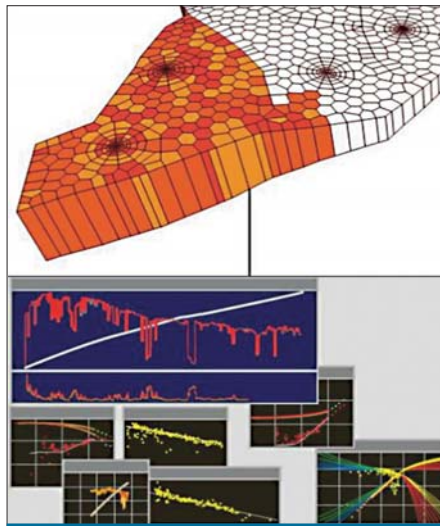


Рис. 2. Анализ промысловых данных

Fig. 2. Production data analysis

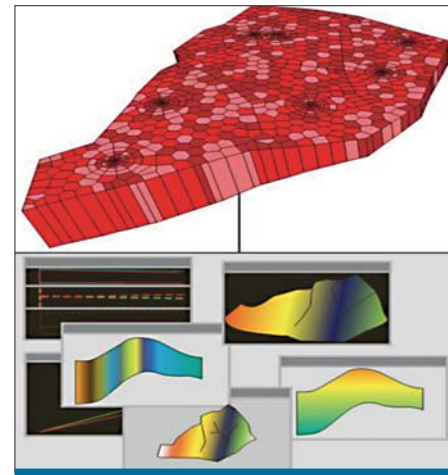


Рис. 3. Построение полей давления и нефтенасыщенности пласта

Fig. 3. Pressure and saturation maps for the oil-bearing formation

**САПФИР** – решение обратной задачи – модуль анализа данных гидродинамических исследований скважин (рис. 1). Определяются фильтрационные свойства и строение пласта в окрестности исследуемой скважины.

**ТОПАЗ** – решение обратной задачи – модуль анализа и прогноза добычи; Программный модуль позволяет обрабатывать данные по добыче скважин и данные о давлении, полученные с датчиков телеметрии (ТМС), установленных на приёме погружных электроцентробежных насосов (рис. 2). Интервал времени регистрации давления может составлять месяцы и годы. Получаемые в Топазе результаты характеризуют свойства и строение пласта в межскважинном пространстве.

**РУБИН** – комплексный трёхмерный трёхфазный симулятор – позволяет оперативно, но несколько упрощённо решать прямую задачу – определять поле давлений, поле насыщенности пласта нефтью и другие характеристики в пределах, как отдельных зон, так и всего пласта в целом (рис. 3).

**АЛМАЗ** – модуль предварительной обработки и ведения базы данных от любого источника, и обеспечения доступа, как к исходным данным, так и к результатам их обработки другими модулями). Для проведения подобного рода расчетов и ведения локальных баз данных, вообще говоря, достаточно графических рабочих станций и серверов средней производительности, которые, однако, должны быть интегрированы в высокопроизводительную вычислительную среду, обеспечивающую многовариантное моделирование отклика всего месторождения и ведение глобальной базы данных геологической и гидродинамической модели пласта.

## II. Суперкомпьютерные технологии в США – результат многолетней целенаправленной поддержки государства

Комплексная проблема создания суперкомпьютерных технологий тера (10<sup>12</sup>) и петафлопсного (10<sup>15</sup>) классов была в основном решена в рамках Программы ASCI в 1997-2010 гг. Основная цель этой программы – замена натуральных испытаний ядерных боезарядов предсказательным моделированием на супер-ЭВМ в совокупности с полунатурными экспериментами. В рамках программы ASCI на основе государственного финансирования, ведущие компании США разработали технологии создания

below-mentioned «Kappa Engineering Company» software, namely:

**Saphir** – solving of inverse problems – analysis of well-testing data (see Fig.1); structure and filtration parameters of the formation are evaluated in the vicinity of well under investigation.

**Topaze** – solving of inverse problems – software module for production prediction and analysis. It allows processing and analyzing pressure and inflow data obtained by telemetric systems equipped by pressure sensors placed on submersible centrifugal pumps (see Fig. 2). Such measurements might last several month or even years. As a result, we obtain information about structure and formation parameters in the interwell space.

**Rubis** – 3-phase 3D hydrodynamic simulator – allows solving direct problem on-line (with simplifications), namely: to evaluate pressure, saturation and other parameters distributions for the whole layer (see Fig. 3).

**Diamant** – software module for pre-processing and database maintenance - providing access to input data and to results of processing and analysis done by other modules. Generally speaking, for such pre-processing and local databases maintenance it's enough to use graphic workstations or servers of average calculating capacity, but they should be placed into computing environment with ultra-high calculating capacity. This computing environment should provide multi-variant modeling of stimulation response and full database maintenance, including geological and hydrodynamic models for the whole field.

## II. Successful development of supercomputer technologies in USA – result of purposeful multi-annual Government support

In USA the problem of work out tera- (10<sup>12</sup>) and peta-flops (10<sup>15</sup>) supercomputer technologies was in principle solved under the «Program ASCI» in 1997 – 2007. Main goal of this program was to replace in-situ nuclear tests by predictive modeling on supercomputers in combination with semi-in-situ experiments. Leading USA companies had worked out technologies for production of supercomputers with scalable network architecture, having Government financing provided by the «Program ASCI». Networks may consist of hundreds and thousands commercial and large-scale produced microprocessors, working in parallel. USA

супер-ЭВМ с архитектурой масштабируемой сети десятков и сотен тысяч параллельно работающих массовых коммерческих микропроцессоров, а Национальные лаборатории США - технологии создания масштабируемых приложений. В течение 12 лет, были созданы супер-ЭВМ с производительностью от 1 (1997г.) до 1000 (2009г.) терафлопс, на основе массовых коммерческих вычислительных и коммуникационных узлов, которые, собственно и положили начало формированию мирового рынка высокопроизводительных вычислений, на котором до настоящего времени доминируют компании США. То есть, за исключением Китая и Японии, производители супер-ЭВМ в других странах (в том числе и в России) на самом деле производителями не являются, а собирают их из готовых блоков американских компаний.

Следует отметить, что успех программы ASCI – это результат многолетний целенаправленной поддержки правительством США работ в области высокопроизводительных вычислений, необходимость которой обоснована в отчете, подготовленном в 1982 г. комиссией, возглавляемой известным математиком П. Лаксом. В отчете констатировалось, что рыночные механизмы не способны обеспечить развитие суперкомпьютерных технологий на уровне, необходимом для обеспечения национальной безопасности. В 1991 году в США был принят закон о федеральной поддержке высокопроизводительных вычислений (Public law 12-194), призванный "обеспечить постоянное и непрерывное лидерство США в области создания и использования высокопроизводительных вычислений"

Существенно важно, что субъектами прямой государственной поддержки в программе ASCI являлись не компании малого и среднего бизнеса, а крупнейшие компании США, такие как HEWLETT-PACKARD, IBM, INTEL с годовой выручкой \$120 млрд., \$104 млрд., \$53 млрд. соответственно, а также Национальные лаборатории. Другими словами, даже для гигантов информационной индустрии США создание суперкомпьютерных технологий собственными силами, в условиях рынка, без участия государства было связано с неприемлемыми для них рисками, что, собственно, констатировалось в отчете комиссии П. Лакса еще в 1982 г.

С целью сохранения лидирующих позиций США в области создания и использования суперкомпьютерных технологий в 2009 г. правительство страны фактически инициировало реализацию программы работ по созданию технологий экзафлопсных вычислений как основы энергетической безопасности США в 21 веке. Прямое государственное финансирование этих работ ведется, в частности, в рамках закона (H.R. 2272) «Америка конкурирует», при этом основными субъектами поддержки являются крупные компании и ведущие университеты США. [3]

### **III. Состояние дел с суперкомпьютерными технологиями в России**

Суперкомпьютерные технологии – это взаимовязанная триада, включающая супер-ЭВМ с программными системами предсказательного моделирования, и технологии использования этого программно-аппаратного комплекса в процессе создания нового изделия. В России до 2009 года, за исключением атомной отрасли, государственная поддержка развития технологий компьютерных испытаний для промышленности, науки и образования фактически сводилось к созданию только одной части триады, а именно – суперкомпьютера. Государство выделяло средства либо на закупку «под ключ» супер-ЭВМ производства

National laboratories had worked out technologies for creation of scalable software applications. Supercomputers were created with calculating capacity of 1 tera-flops (1997) and 1000 tera-flops (2009) in 12 years by using commercial and large-scale produced computing and communication modules. This was the start of high performance computing (HPC) world market, on which USA companies predominate until now. The producers of supercomputers in other countries (excluding China and Japan but including Russia) are, in fact, not real producers but they only assemble supercomputers using finished modules from USA companies.

It should be emphasized that in USA the success of «Program ASCI» and in high-performance computing as a whole was a result of purposeful multiannual Government support. The necessity of such efforts was substantiated in a report prepared in 1982 by a special commission headed by well-known mathematician P. Lacks. In report it was pointed out that market mechanisms only are not capable to provide growth of supercomputer technologies up to the level mandatory for national security. A special USA support law in HPC (Public law 12-194) was put in force in 1991. The aim of this law was «to provide a stable and continuous USA leadership in development and application of HPC».

It is very important, that entitles to governmental support (in accordance to «Program ASCI») were not small and middle-size USA companies but largest ones such as HULETT-PACKARD, IBM, INTEL with annual proceeds of \$120 bln, \$104 bln, \$53 bln correspondingly and National laboratories as well. In other words, as already it was stated in P. Lacks report in 1982, the supercomputer technologies development by company own forces and without Government participation was unacceptably risky deal for any company on the market, even for USA information industry giants.

In order to keep USA top position in development and application of HPC in 2009 the USA Government initiated special program for development of exa-flops calculations as a basement of national energy security in XXI century. In particular, the direct Government finance is stipulated by the law H.R. 2272 «America do compete» and main entitles for such support are major companies and leading USA universities [3].

### **III. Situation with supercomputer technologies in Russia**

Supercomputer technology consists of coupled triade – supercomputer itself, software with special systems for predictive modeling, and methods of applying previous two components for development of new products. In Russia until 2009 Government support of computer applications in industry, science and education practically was provided for developing first component of this triade - supercomputer (except nuclear industry). The Government allocated money or for buying American finished computers «turnkey» or for buying American component parts and assemble supercomputers by Russian specialists.

Development of applied software and methodology of its applications for such supercomputers was financed as a part of budgets of research institutes, colleges and industrial enterprises. As a result, only laboratory or, at best, experimental prototypes of applied software and methodology of its applications were created; they can't be used without developer participation and, moreover, didn't have mandatory commercial properties.

Prototypes of home competitive software for predictive modeling and a number of supercomputers of different calculating capac-

американских компаний, либо на закупку у этих компаний комплектующих и, создания на их основе, супер-ЭВМ силами отечественных специалистов.

Прикладное программное обеспечение этих супер-ЭВМ и технология его применения создавались в рамках бюджетов институтов, ВУЗов и промышленных предприятий. В результате были созданы только лабораторные или, в лучшем случае, экспериментальные образцы прикладных программных систем и технологий их применения, неотчуждаемые от разработчиков и не обладающие необходимыми продуктовыми свойствами.

В 2010-2012 гг. в рамках проекта «Развитие суперкомпьютеров и грид-технологий» кооперацией более 30 промышленных предприятий, институтов и ВУЗов, при головной роли ГК «РОСАТОМ» (РФЯЦ-ВНИИЭФ) были созданы опытные образцы отечественного конкурентоспособного программного обеспечения предсказательного моделирования, а также ряд супер-ЭВМ различной производительности. Однако этот чрезвычайно успешный проект не был пролонгирован ни в 2013 г., ни в 2014 г.

Как следствие, основная масса потенциальных потребителей высокопроизводительных вычислений и в науке, и в образовании, и в промышленности использует для проведения расчетов доступные на коммерческом рынке зарубежные программные пакеты, которые рассчитаны либо на кластеры с небольшим числом процессоров (10-30), либо на персональный компьютер с одним многоядерным микропроцессором.

Для построения гидродинамической модели нефтегазового месторождения последние двадцать лет наиболее широко используются в нефтегазовой отрасли России гидродинамические симуляторы ECLIPSE фирмы Schlumberger и VIP фирмы Landmark (США), Tempest More фирмы ROXAR (Норвегия) и STAR фирмы Compute Modeling Group Ltd (Канада). Как и в машиностроении, основная масса потребителей использует версии этих программных систем, функционирующих только на персональном компьютере с одним многоядерным микропроцессором. Прежде всего, потому что, при имеющемся уровне достоверности и точности исходных данных, использование более мощных и существенно более дорогих параллельных версий не дает сколь-нибудь заметных преимуществ. То есть в условиях недостаточного количества скважин, оснащенных телеметрическими системами, обеспечивающих измерение ключевых параметров с требуемой точностью, и средств локального анализа данных типа КАППА-ИНЖИНИРИНГ, применение мощных параллельных систем гидродинамического моделирования всего пласта ни технически, ни экономически не оправдано.

В этих условиях время расчета одного варианта научных и промышленных задач при **традиционных способах разработки** составляет для месторождения с **50 скважинами 5 суток**, а для месторождения с **1000 скважинами 90 суток**. Аналогичные времена в случае использования методов повышения нефтеотдачи составляют уже **60 суток (50 скважин) и 36 месяцев (1000 скважин)** соответственно. Другими словами, в существующих условиях не представляется возможным осуществлять гидродинамическое моделирование с точностью и скоростью, необходимыми для оперативного управления разработкой нефтяных месторождений **с количеством скважин на одном объекте более 100**; рассчитывать с помощью гидродинамического моделирования местоположение целиков нефти,

ity – were created in 2010 – 2012 within the frames of Russian Program «Development of supercomputers and grid- technologies». This was done by cooperation of 30 institutes, colleges and industrial enterprises, with leadership of Governmental Corporation «Rosatom» (namely, Russian Federal Nuclear Center- All-Russian Institute of Experimental Physics). Unfortunately, financing of this very successful project wasn't prolonged neither in 2013, nor in 2014.

As a consequence, major part of potential Russian HPC consumers – in science, education, industry – use foreign software destined for clusters or with small number of processors, or computers with one multi-core microprocessor.

The corresponding software is widely used in Russian oil and gas industry in last 20 years, mainly: ECLIPSE (Schlumberger, USA), VIP (Landmark, USA), TEMPEST MORE (Roxar, Norway), STAR (Compute Modeling Group Ltd., Canada). As in engineering, most part of HPC Russian consumers use, as a rule, versions of mentioned software destined for one PC with one multi-core microprocessor. Application of more capable (and considerably more expensive) software with parallel computing doesn't give any essential advantage due to low accuracy and reliability of measured input data. In other words, if:

- ✓ the number of wells equipped with telemetric systems is rather small,
- ✓ telemetric systems can't provide the mandatory accuracy and reliability,
- ✓ there is lack of analytic software like «KAPPA ENGINEERING»,

than for production engineer it doesn't worth to use high-capable parallel computing systems for hydrodynamic simulation. This is not reasonable neither from technical, not from economical point of view.

If we use such low capable computers for simulation of the development of oil field with 50 wells exploited by traditional methods than run time of one simulation variant is about 5 days, for field with 1000 wells – 90 days. If on this field tertiary recovery methods are applied, than corresponding run times become 60 days (50 wells) and increase up to 36 month in case of 1000 wells. In other words, with such low capable computers it seems to be impossible to solve following problems:

- to provide simulation with accuracy and counting rate mandatory for on-line control of field development – **on oil fields with more than 100 wells**,
- to determine the location of zones with residual oil within flooded parts of oil field,
- to design (not to speak of control) new development methods of oil resources whose production is problematic with accurate evaluation of all production characteristics for the whole field – **on oil fields with more than 30 wells**.

From above said it is clear that Russian oil industry doesn't possess the technology «Digital field». This is one of main reasons for Russian oil and gas producing companies to be behind world market leaders in such key parameter as annual proceeds. Actually, in 2013, according to the annual list of world companies with turnover more than \$100 bln, annual proceeds of EXXON (USA) was \$420 bln, PETROBRAS (Brazil) – \$308.9 bln, GASPROM - \$144 bln, LUKOIL – 115.8bln.

Such technological lag of Russian oil and gas producing companies is a direct consequence of some principal propositions con-

не вовлеченных в разработку на уже заводенных нефтяных месторождениях; а так же проектировать (не говоря уже о регулировании) применение инновационных методов разработки трудноизвлекаемых запасов нефти с точным расчетом показателей разработки по всему объекту **при количестве скважин на объекте более 30**.

Из вышеизложенного следует, что нефтегазовая отрасль России не располагает технологиями «Цифровое месторождение», что является одной из основных причин заметного отставания российских нефтегазовых компаний от лидеров мирового рынка по такому ключевому показателю как объем годовой выручки. Действительно, по данным, приведенным в списке мировых компаний с оборотом более – \$100 млрд. за 2013 год, объем выручки компании EXXON (США) составил – \$420 млрд., компании PETROCHINA (Китай) – \$308.9 млрд., компании ГАЗПРОМ – \$144 млрд., компании ЛУКОЙЛ – \$115.8 млрд.

Такое технологическое отставание российских нефтегазовых компаний является прямым следствием ряда принципиальных положений, сформулированных в документе «Основные направления политики РФ в области развития инновационной системы на период до 2020 г.»

Основная задача государства здесь - формирование экономических условий и благоприятной экономической и правовой среды для ведения предприятиями инновационной деятельности. Весьма расширительная трактовка инновационной деятельности, оценка ее успешности по вторичным, не рыночным показателям, делают необязательным создание продукта с высокой добавленной стоимостью, обеспечивая, однако при этом заданный уровень отчетных показателей.

Так, согласно Основным направлениям, снижение собственных производственных затрат предприятия относится к инновационной деятельности: «применение инноваций (нововведений)...обеспечивающих экономию затрат или создающих условия для такой экономии». В результате таких инноваций увеличивается прибыль предприятия, но не добавленная стоимость выпускаемого продукта. При этом, конечно, растут внутренние затраты на исследования и разработки, доля предприятий, осуществляющих инновационную деятельность и доля инновационной продукции в общем объеме продаж. То есть, отчетные показатели предприятий и ведомств, заданные в Основных направлениях, свидетельствуют об успешности инновационной деятельности.

Это одно из обстоятельств, которое в сочетании с требованием финансовой конкурентоспособности, является основной причиной того, что российская инновационная система «...ориентирована на имитационный характер, а не на создание новых технологий». Что собственно и констатировано в преамбуле «Стратегии инновационного развития РФ до 2020 года».

Очевидно, что сокращение собственных затрат на производство, во-первых, за сравнительно короткое время позволяет заметно увеличить прибыль, что крайне важно в условиях финансовой экономики. Во-вторых, связано с существенно меньшими рисками и затратами, чем создание нового продукта с более высокой добавленной стоимостью. Что, собственно, и доказывает неадекватность трактовки инновационной деятельности и критериев ее оценки в общемировой практике.

tained in a document «Main trends of Russian policy in development of innovation system up to 2020».

Main task of the Government in such development consists in setting up economic conditions and favorable economic and law environment for innovation activity of the companies. Not clear interpretation of the «innovation activity», in conjunction with evaluation of its success by secondary (not market) indices provides possibility of achieving good index values in reports but it makes not obligatory to work out real product with high added value.

For instance, in accordance to «Main trends» company's' production costs reduction is treated as element of innovation activity, namely: «... applying innovations ... providing cost reduction or setting up conditions for such reduction. ...» Company profit grows as a result of such innovations but not added value of manufactured product. Research-and-development costs, part of enterprises with innovation activity and contribution of innovation products to company's sales values – grew in such a case, of course. And so, index values in reports (set force by «Main trends. ...») give an evidence of innovation activity success. It's one of the reasons (in combination with financial compatibility requirement) for Russian innovation system «... to orientate on imitation only but not on working out new technologies ...», as it is mentioned in preamble to «Main trends. ...»

It is clear, that company's production costs reduction achieved in a sort time causes company profit grow, what is extremely important for financial results of the company. Also, such approach leads to considerably less risks and expenditures than manufacturing a new product with high added value.

This proves incorrectness of such «innovation activity» understanding and criteria of its appraisal.

Most correct criteria of such appraisal are annual proceeds of home and foreign companies. For instance, in the list of world companies with annual proceeds over \$100 bln on the top there are 21 USA companies with sum proceeds of \$ 3.55 trillion, on the second place – 5 China corporations with sum proceeds of \$1.075 trillion. Then German, French, Japan, Great Britain and Italian companies are ranged. In Russia only two giant companies – «Gasprom» and «Lukoil» – have sum proceeds of \$0.2598 trillion.

This is small compared with sum proceeds of two Chinese oil companies – «Petrochina» and «Sinopec-China» – which are equal to \$0.7266 trillion. So, sum proceeds of Chinese companies are three times more than Russian ones. More likely this is the result of Chinese companies' technological advantage.

Sum annual proceeds of two automobile German companies – «Volkswagen» and «Daimler» – are equal to \$0.4048 bln, but of two Russian ones – «AvtoVaz» and «Kamaz» – about \$50 bln only. This is obvious result of using foreign technologies which are far from being up to date, of course. Thus it is rather clear that Russian companies will never be among leaders of world market if they keep stay within frames of liberal market economy.

This conclusion can be confirmed by provisions analysis of «Russian innovation development strategy up to 2020». Provisions are based on interpretation and appraisal criteria of innovation activity contained in «Main trends. ...»

It is planned to rise up different indices by 2020 to following levels: part of enterprises with innovation activity – 40-50%, part of innovation products – 20-25%, Russian scientific publications – 3%, etc. But meantime «Russian part on high-tech world markets

Наиболее объективный критерий такой оценки – годовой оборот отечественных и зарубежных компаний. Так, например, в списке мировых корпораций с годовой выручкой более 100 млрд. долларов 21 компания США с суммарной выручкой – 3 трлн. 550 млрд., на втором месте Китай – 5 корпораций с суммарной выручкой 1 трл. 75 млрд. долл. Далее компании Германии, Франции, Японии, Великобритании и Италии. В нашей стране всего два гиганта: «Газпром» и «Лукойл» с суммарной выручкой – 259,8 млрд. Для сравнения суммарная выручка двух нефтяных компаний Китая PETROCHINA и SINOPEC-CHINA – 726,6 млрд.

То есть выручка китайских нефтяников почти в три раза выше, и, скорее всего, это результат технологического преимущества. Общая выручка двух автомобильных компаний Германии VOLKSWAGEN и DAIMLER составляет 404,8 млрд., а двух российских – АВТОВАЗа и КАМАЗа – около 50 млрд. долл. Это и есть наглядный результат использования зарубежных технологий и оборудования, и, конечно, далеко не самых современных. Таким образом, достаточно очевидно, что оставаясь в рамках либеральной рыночной экономики, российские компании никогда не будут лидерами мирового рынка. Подтверждение этому – «Стратегия инновационного развития РФ до 2020 года», в основе которой трактовка инновационной деятельности и ее оценки, – из Основных направлений. Планируется, что к 2020 г. доля инновационных предприятий увеличится до 40-50%, инновационной продукции – до 20-25%, российских публикаций – до 3% и т.д. Однако при этом: «к 2020 г. долю России на мировых рынках высокотехнологичной продукции планируется увеличить до 2%», что в 8 раз меньше, чем было у Китая в 2008 году, и в 6 раз меньше, чем у США в том же году.

Весьма расширительная и расплывчатая трактовка инновационной деятельности в Основных направлениях, оценка ее успешности по вторичным не рыночным показателям, делает необязательным создание продукта с высокой добавленной стоимостью, продажа которого на рынке и приносит основную долю прибыли, обеспечивающей как покрытие расходов на его создание, так и затраты на разработку такого продукта следующего поколения. Другими словами государство отвечает только **за создание условий** для инновационной деятельности предприятий, а за создание в этих условиях **продуктов с высокой добавленной стоимостью отвечают только предприятия**. Причем «краеугольным камнем» этих условий для предприятий является **конкуренция на мировом рынке с крупными зарубежными компаниями, имеющими государственную поддержку**.

Необходима разработка альтернативной промышленной политики, в рамках которой государство несет ответственность за формирование таких экономических условий, которые обеспечивали бы технологическую конкурентоспособность страны на мировом рынке и, как следствие, создание промышленными предприятиями продуктов с высокой добавленной стоимостью. В существующих условиях это могут быть отраслевые законы прямого действия, типа закона о «СКОЛКОВО», но нацеленные не на создание условий для инновационной деятельности малых и средних предприятий, а на создание ключевых технологий для нефтегазовой отрасли, энергетического машиностроения, авиации и т.д., обеспечивающих их конкурентоспособность на мировом рынке. □

is planned to rise up to 2%», what is 8 times less than Chinese part in 2008 and 6 times less than USA part that year.

Not clear and even vague interpretation of the «innovation activity» in «Main trends. . .», evaluation of its success by secondary (not market) indices make not obligatory to work out real product with high added value. But a sale of this very product makes main profit which allows company to reimburse the expenditures on product manufacture and expenses on new product generation development.

In other words, **Government is only responsible for setting up the conditions** for innovation activity of enterprises. But only **enterprises bear responsibility for working out products with high added value** under these conditions. And cornerstone of these conditions is **the competition on the world market with major foreign companies having Government support**.

It is necessary to work out the alternative industrial policy according to which the **Government should bear the responsibility** for setting up economic conditions which will:

- provide the technological compatibility of home companies on the world market
- stimulate companies to manufacture products with high added value.

In existing circumstances as an alternative **it might be laws of direct force, like law about «Skolkovo», but aimed not for setting up conditions for promoting small and middle-size companies innovation activity but for stimulation major companies to work out key high-tech technologies in oil and gas, power engineering, aviation industry, etc.**

Such key technologies should be of such type that would be able to provide compatibility of these industry branches on the world market. □

#### Литература:

1. Бетелин В.Б., Боксерман А.А., Костюков В.Е., Савельев В.А. Проблемы управления процессами нефтеотдачи на основе моделирования на супер-ЭВМ. НЕФТЕГАЗОПРОМЫСЛОВЫЙ ИНЖИНИРИНГ 03 кв 2010 г., стр. 14-18.
2. Бетелин В.Б. Отечественные суперкомпьютерные технологии экзафлопсного класса – необходимое условие обеспечения технологической конкурентоспособности России в XXI веке. ПРОГРАММНЫЕ ПРОДУКТЫ И СИСТЕМЫ №4(104) 2013 г.стр.4-9.
3. Велихов Е.П., Бетелин В.Б., Кушниренко А.Г. Промышленность, инновации, образование и наука в России. Москва, НАУКА, 2010 г., 139 стр.

#### Literature:

1. Betelin V.B., Bokserman A.A., et all. «Problems in controlling oil recoverability by using supercomputer modeling», «Oil and gas engineering», 3quarter of 2010, pp. 14 – 18.
2. Betelin V.B. «Creation and application of home-made supercomputer exa-flops technologies - an indispensable condition for compatibility of Russia in XXI century», «Software products and systems», #4 (104), 2013, pp. 4 -9.
3. Velichov E.P., Betelin V.B, Kuchnerenko A.G. «Industry, innovations, education and science in Russia», М., «Nauka», 2010, 139 p.