

*VII Мелентьевские чтения  
«Прогнозирование развития мировой и российской  
энергетики: подходы, проблемы, решения»*

# Прогнозирование развития мировых энергетических рынков - методы и проблемы

*В. А. Кулагин, А. А. Галкина*

Институт энергетических исследований РАН

17-19 апреля 2013



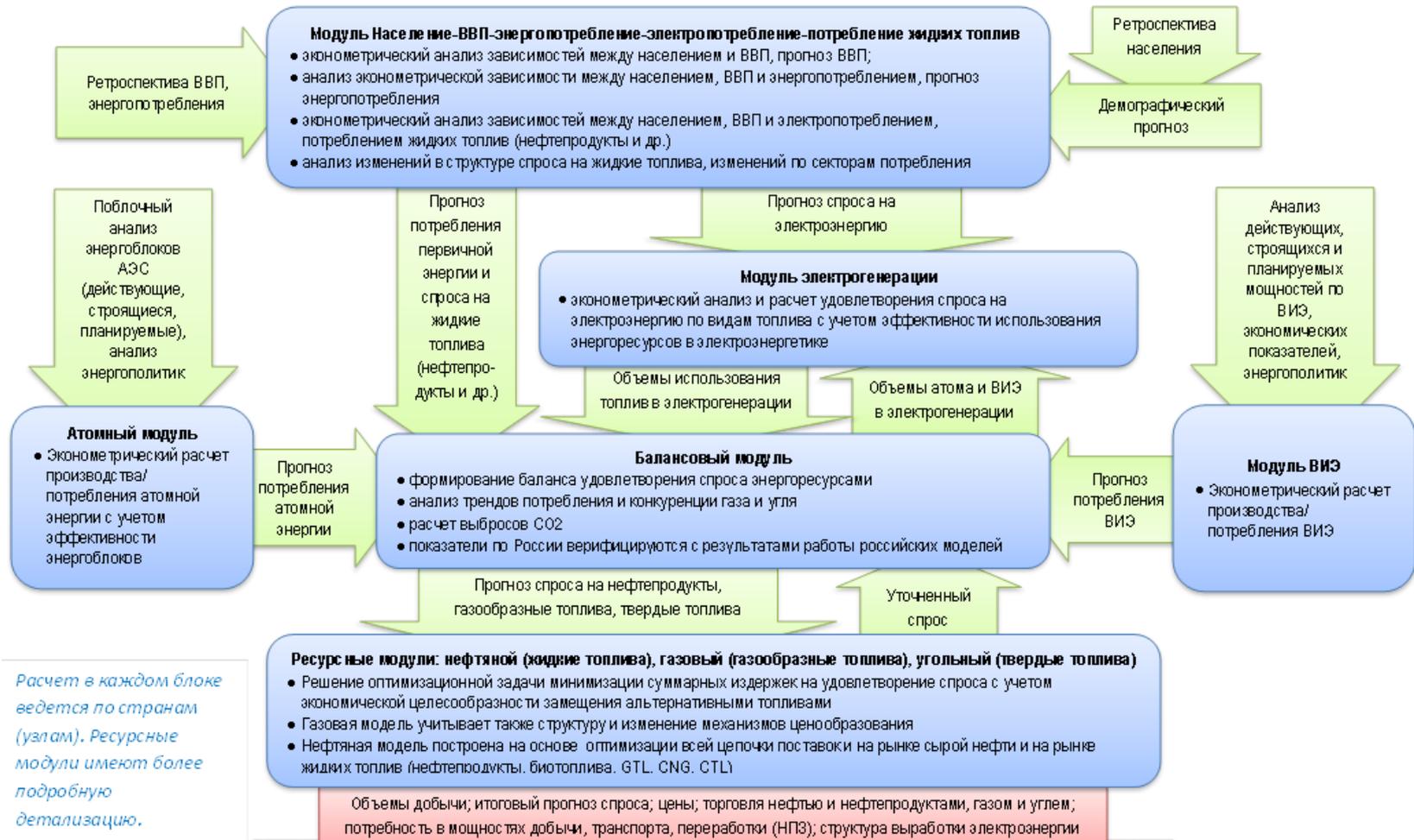


# Ключевая проблема – необходимость и достаточность





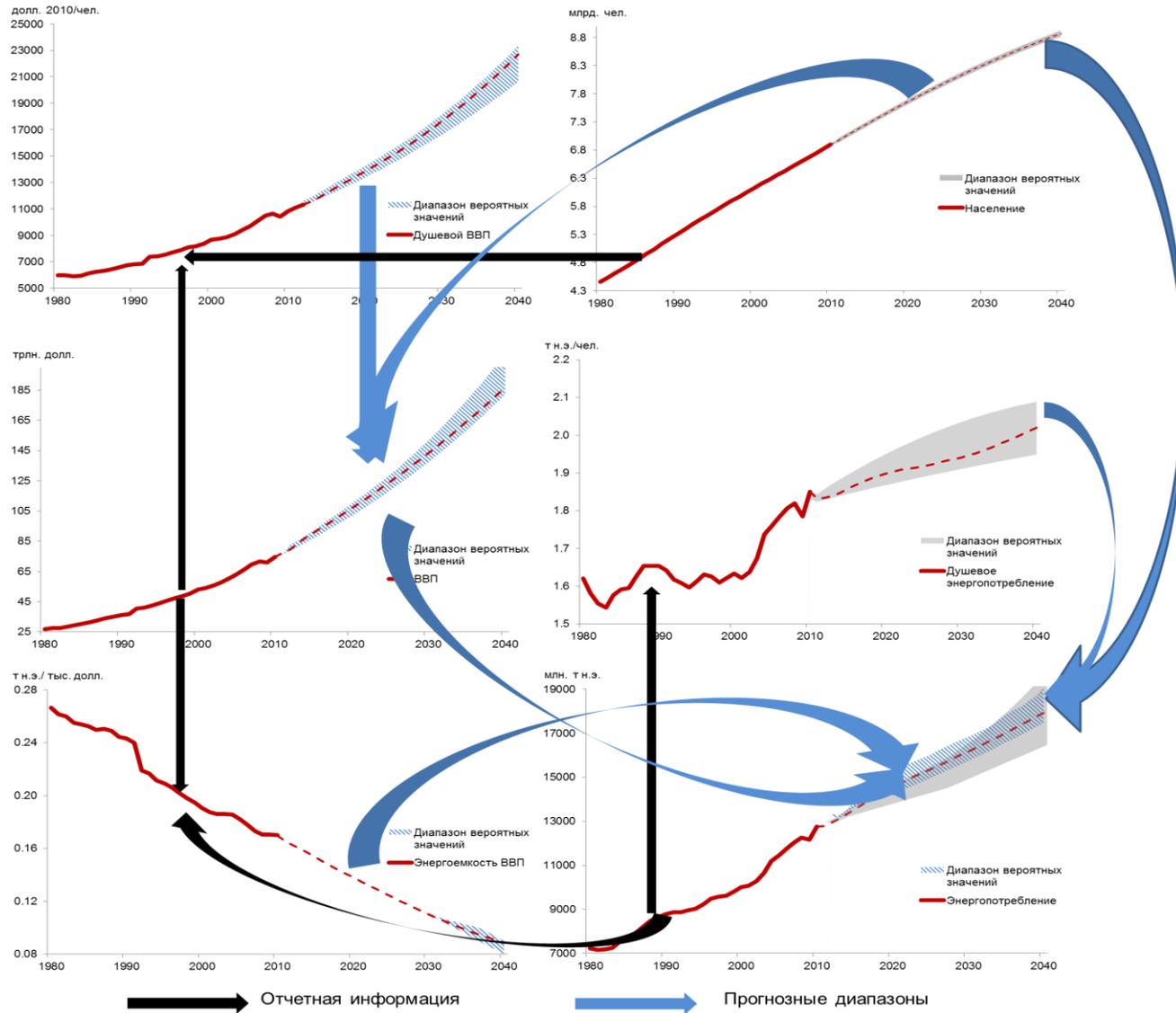
# Общая методология расчёта



*Расчет в каждом блоке ведется по странам (узлам). Ресурсные модули имеют более подробную детализацию.*



# Схема совмещения демографического и экономического прогнозов энергопотребления





## Модуль электропотребления

- При расчете спроса на электроэнергию учитывается динамика эффективности сжигания топлив на электростанциях
- Производство электроэнергии на АЭС и ГЭС является сценарной предпосылкой
- Прогноз структуры производства электроэнергии по другим видам топлива основывается на анализе трендов:
  - доли нефтепродуктов в производстве электроэнергии;
  - отношения ВИЭ и биоэнергии в э/э к общему потреблению ВИЭ и биоэнергии;
  - долей газа и угля в остатке спроса на электроэнергию.





## Газовый ресурсный модуль

Мировая модель рынков газа построена на принципах детального представления всех **возможностей**:

- **по добыче** природного газа по всем странам мира с указанием максимальных объемов и затрат на добычу в каждый прогнозный период;
- **по производству СПГ** по странам мира с указанием объемов и стоимости сжижения газа;
- **по транспортировке** природного и сжиженного природного газа с указанием объемов и затрат на транспортировку по каждому из маршрутов;
- **замещения** природного газа другими видами топлива: нефтью, углем, атомной энергией, ВИЭ, с учетом **заключенных между участниками рынка соглашений** по поставке газа.

При этом в качестве **экзогенных переменных** вводится **цена на нефть и прогнозный спрос** на природный газ по странам с указанием доли каждого региона внутри страны в случае наличия нескольких узлов, относящихся к одной стране.

## Схема взаимодействия Балансовой модели и Модели мирового рынка газа





## Характеристики Модели мирового рынка газа

ММРГ – **оптимизационная** модель, в основе которой лежит **минимизация целевой функции**, включающей сумму всех издержек на поставку газа в узлы потребления.

При этом в модель введены **3,5 млн. констант** и **34,6 тыс. ограничений**.

В ММРГ производятся расчеты по **147 странам**, **192 узлам**, в т.ч. США, Канада, Австралия, Китай, Россия, Казахстан, Туркменистан и Украина включают два и более узла.

База данных модели содержит информацию о **506 группах месторождений**.

**Инфраструктурную** основу ММРГ составляют:

- 394 газопровода;
- 201 СПГ завод и 312 СПГ терминалов;
- 1916 маршрутов поставок СПГ;
- 386 подземных хранилищ газа.



## Целевая функция Модели мирового рынка газа

$$f(x) = \left( \sum_{\text{field}} \text{Prod}_c + \sum_{\text{pipe+LNG}} \text{Contr}_c + \sum_{\text{pipe+LNG}} \text{Contr\_TOP}_c + \sum_{\text{trans}} \text{Contr\_SOP}_c + \sum_{\text{LIQ}} \text{LIQ}_c + \sum_{\text{regas}} \text{Regas}_c \right. \\ \left. + \sum_{\text{pipe}} \text{Pipe\_trans}_c + \sum_{\text{LNG\_route}} \text{LNG\_ship}_c + \sum_{\text{storage}} \text{Storage\_operating}_c + \sum_{\text{node}} \text{DSR}_c \right) \rightarrow \min, \quad \text{где:}$$

$\sum_{\text{field}} \text{Prod}_c$  – суммарные затраты на производство газа в каждом узле;

$\sum_{\text{pipe+LNG}} \text{Contr}_c$  – суммарные затраты по контрактным поставкам газа по каждому контракту (как трубопроводному, так и СПГ);

$\sum_{\text{pipe+LNG}} \text{Contr\_TOP}_c$  – суммарные затраты по условиям бери-или-плати по каждому контракту (как трубопроводному, так и СПГ);

$\sum_{\text{trans}} \text{Contr\_SOP}_c$  – суммарные затраты по условиям отгружай-или-плати по каждому транспортному контракту;

$\sum_{\text{LIQ}} \text{LIQ}_c$  – суммарные затраты на сжижение газа по каждой станции сжижения;

$\sum_{\text{regas}} \text{Regas}_c$  – суммарные затраты на регазификацию газа по каждой станции регазификации;

$\sum_{\text{pipe}} \text{Pipe\_trans}_c$  – суммарные затраты на трубопроводную транспортировку газа по каждой трубе;

$\sum_{\text{LNG\_route}} \text{LNG\_ship}_c$  – суммарные затраты на перевозку СПГ по каждому маршруту;

$\sum_{\text{storage}} \text{Storage\_operating}_c$  – суммарные операционные затраты по каждому ПХГ;

$\sum_{\text{node}} \text{DSR}_c$  – суммарные затраты на использование альтернативных источников энергии (рассчитываются производением объемов неудовлетворения спроса на газ на цены переключения на другие источники энергии).

Суммарные затраты рассчитываются в млн. долл. как произведение удельной стоимости газа на объем.



# Модель мирового рынка газа

## Образец базы месторождений газа

MAXIMUM PRODUCTION CAP

Node Name	Country	Rd	Rd Type	Description	Reserves	Prod LRMCM \$/mmbtu R	Prod LRMCM \$/mmbtu R	CV kJ/kwh	Prod %	Prod LRMCM \$/mmbtu R	Est	Est	Prod 2006	Prod 2007	Prod 2008	Prod 2009
1 Canada West	Canada	1	North America	Oil	Oranore - 5000ft	1.07	38222	20.00	839	1.12	-	-	-	-	-	-
1 Canada West	Canada	1	North America	Oil	Oranore - 10000ft	2.17	38222	20.00	879	1.12	-	-	-	-	-	-
1 Canada West	Canada	1	North America	Oil	Oranore - 15000ft	6.58	38222	20.00	2002	1.12	-	-	-	-	-	-
1 Canada West	Canada	1	North America	Oil	Oranore - All - SRMCM	1.00	38222	20.00	836	1.12	181.17	185.87	179.79	170.64	-	-
1 Canada West	Canada	1	North America	Shale	Horn River - Shale - Low	2.49	38222	10.00	890	1.00	-	-	-	-	-	-
1 Canada West	Canada	1	North America	Shale	Horn River - Shale - Medium	2.68	38222	10.00	897	1.00	-	-	-	-	-	-
1 Canada West	Canada	1	North America	Shale	Horn River - Shale - High	3.25	38222	10.00	1118	1.00	-	-	-	-	-	-
1 Canada West	Canada	1	North America	Shale	Horn River - Shale - SRMCM	1.22	38222	10.00	844	1.00	-	-	-	-	-	-
1 Canada West	Canada	1	North America	Oil	Oranore - OBM	2.79	38222	10.00	1014	1.12	5.27	5.91	6.45	7.53	-	-
2 Canada East	Canada	1	North America	Oil	Oranore	5.05	38222	10.00	1183	1.12	4.39	4.04	4.66	4.96	-	-
2 Canada East	Canada	1	North America	Oil	Oranore	4.83	38222	10.00	1168	1.12	0.26	0.26	0.26	0.26	-	-
3 Mexico	Mexico	1	North America	Oil	Oranore - Deep	3.87	39850	-	1158	1.07	-	-	-	-	-	-
3 Mexico	Mexico	1	North America	Oil	Oranore - Shallow	1.28	39850	-	448	1.07	-	-	-	-	-	-
3 Mexico	Mexico	1	North America	Oil	Oranore - SRMCM	0.78	39850	-	829	1.07	14.78	17.10	19.18	23.20	-	-
3 Mexico	Mexico	1	North America	Oil	Oranore - 80 mcts	13.81	39850	-	3522	1.07	-	-	-	-	-	-
3 Mexico	Mexico	1	North America	Oil	Oranore - 250 mcts	4.13	39850	-	1196	1.07	-	-	-	-	-	-
3 Mexico	Mexico	1	North America	Oil	Oranore - 500 mcts	5.98	39850	-	1670	1.07	-	-	-	-	-	-
3 Mexico	Mexico	1	North America	Oil	Oranore - 1000 mcts	2.93	39850	-	811	1.07	-	-	-	-	-	-
3 Mexico	Mexico	1	North America	Oil	Oranore - 5000 mcts	0.83	39850	-	232	1.07	-	-	-	-	-	-
4 Alaska	USA	1	North America	Oil	Oranore	0.28	39850	-	81	1.07	22.43	24.41	27.45	23.38	-	-
4 Alaska	USA	1	North America	Oil	Oranore	4.05	38317	12.80	1147	1.07	0.07	0.06	0.05	0.02	-	-
4 Alaska	USA	1	North America	Oil	Oranore - SRMCM	1.98	38317	12.80	672	1.07	3.04	1.86	1.81	1.63	-	-
4 Alaska	USA	1	North America	Oil	Oranore - 5000ft	3.51	38317	12.80	1123	1.07	-	-	-	-	-	-
4 Alaska	USA	1	North America	Oil	Oranore - 10000ft	3.29	38317	12.80	1120	1.07	-	-	-	-	-	-
4 Alaska	USA	1	North America	Oil	Oranore - 15000ft	3.95	38317	12.80	1144	1.07	-	-	-	-	-	-
4 Alaska	USA	1	North America	Oil	Oranore - 25000ft	6.22	38317	12.80	1828	1.07	0.28	0.32	0.30	0.09	-	-
4 Alaska	USA	1	North America	Oil	Oranore	1.98	38317	12.80	672	1.07	10.46	10.53	10.28	9.25	-	-
5 USA North East	USA	1	North America	Oil	Oranore - SRMCM	7.27	38317	12.80	1828	1.00	0.06	0.09	0.10	0.04	-	-
5 USA North East	USA	1	North America	Oil	Oranore - OBM - 250 mcts	1.48	38317	12.80	653	1.00	-	-	-	-	-	-
5 USA North East	USA	1	North America	Oil	Oranore - OBM - SRMCM	1.68	38317	12.80	681	1.00	2.58	3.04	3.38	4.02	-	-
5 USA North East	USA	1	North America	Shale	Marcellus - Shale - Low # 6891489848	1.78	38317	12.80	688	1.00	-	-	-	-	-	-
5 USA North East	USA	1	North America	Shale	Marcellus - Shale - High # 3183392318	1.56	38317	12.80	672	1.00	-	-	-	-	-	-
5 USA North East	USA	1	North America	Shale	Marcellus - Shale - High # 2080.805294	2.58	38317	12.80	894	1.00	-	-	0.05	0.02	-	-
5 USA North East	USA	1	North America	Shale	Marcellus - Shale - SRMCM # 231.9421339	0.79	38317	12.80	629	1.00	-	-	1.74	2.37	-	-
5 USA North East	USA	1	North America	Oil	Northeast - 50 mcts	19.16	38317	12.80	696	1.07	-	-	-	-	-	-
5 USA North East	USA	1	North America	Oil	Northeast - 250 mcts	6.88	38317	12.80	829	1.07	-	-	-	-	-	-
5 USA North East	USA	1	North America	Oil	Northeast - 500 mcts	10.12	38317	12.80	1368	1.07	0.30	0.38	0.32	0.11	-	-

## Образец базы альтернативных топлив

COMPETING FUEL PRICES USED FOR DSR PRICE

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
OECD Coal Price \$/mmbtu	2.85	2.92	3.04	4.69	4.61	4.19	5.10	3.86
Central Appl Coal Price \$/mmbtu	1.10	1.17	1.29	2.94	2.86	2.44	3.35	2.11
Adjusted Capp Price \$/mmbtu	1.67	1.78	1.96	4.45	4.34	3.69	5.08	3.20
NWE Coal Price \$/mmbtu	2.10	2.17	2.29	3.94	3.86	3.44	4.35	3.11
Adjusted NWE Price \$/mmbtu	3.18	3.30	3.47	5.97	5.85	5.21	6.83	4.95
Japan Import Coal Price \$/mmbtu	2.95	3.02	3.14	4.79	4.71	4.29	5.20	3.96
Adjusted Japan Import Coal Price \$/mmbtu	4.47	4.58	4.76	7.26	7.14	6.49	7.88	6.00

Rotterdam HFO \$/mmbtu	7.05	8.56	9.78	12.88	9.27	12.02	15.86	14.58
US Resid \$/mmbtu	5.64	6.85	7.83	10.30	7.42	9.61	12.69	11.67
Rotterdam LFO \$/mmbtu	7.62	8.62	9.80	14.64	9.48	12.59	16.72	15.47
Rotterdam GO \$/mmbtu	13.18	14.66	15.60	21.61	11.97	15.39	21.28	21.68

North America CO2 Price (\$/tonne)	-	-	-	-	-	-	-	-
Europe CO2 Price (\$/tonne)	-	-	-	-	-	4.00	4.00	-
Asia CO2 Price (\$/tonne)	-	-	-	-	-	-	-	-

## Образец базы спроса на газ

DEMAND BY COUNTRY DEMAND BY COUNTRY

Country	2023	2024	2025	2026	2027
69 Thailand	61.3	62.2	63.2	64.3	65.5
70 Vietnam	12.5	12.7	12.9	13.2	13.4
71 Argentina	48.7	49.6	49.9	50.3	50.5
72 Bolivia	3.5	3.6	3.6	3.6	3.6
73 Brazil	61.7	64.5	66.8	70.1	73.4
74 Chile	8.2	8.4	8.6	8.9	7.6
75 Colombia	10.7	10.9	10.9	11.0	11.1
76 Cuba	1.1	1.1	1.1	1.2	1.2
77 Dominican Republ	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
78 Peru	6.9	7.0	7.1	7.1	7.1
79 Trinidad and Toba	24.1	24.6	24.7	24.9	25.0
80 Venezuela	33.9	34.5	34.7	35.0	35.1
81 Armenia	2.2	2.2	2.2	2.2	2.3
82 Azerbaijan	12.3	12.5	12.8	13.1	13.3
83 Belarus	20.1	20.1	17.2	17.3	17.3
84 Georgia	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
85 Kazakhstan	33.5	34.3	35.1	36.0	36.9
86 Kyrgyzstan	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5

## Образец газового баланса узла

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Demand	12.8	15.0	15.1	13.0	15.0	17.5	15.4
Production	50.9	55.4	56.7	32.7	36.4	43.9	53.3
Import Requirement	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Export Potential	38.0	40.3	41.6	19.7	21.4	26.4	37.9
Imports ok							
Pipeline Import Capacity	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
LNG Import capacity	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Total Import Capacity	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Import Bottleneck	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Check for Sufficient Export Capacity							
Pipeline Export Capacity	44.0	44.0	44.0	64.00	70.0	90.0	90.0
LNG Export Capacity	0.0	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0	0.0
Total Export Capacity	44.0	44.0	44.0	64.00	70.0	90.0	90.0
Export Bottleneck	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

## Образец базы СПГ контрактов

LNG CONTRACT DATA LNG CONTRACT DATA

From Node	To Node	Buyer	Import term	Seller	Export Terminal	Start	End	Assum ed st	Assum ed En	ACQ mtpa	ACQ BSCM
64	62 Malaysia	Korea		Kogas	Pyeong-Taek, Inch	2008	2028	2008	2028	1.5	2.1
64	62 Malaysia	Korea		Kogas	Pyeong-Taek, Inch	2003	2010	2003	2010	1.5	2.1
117	24 Nigeria	France		Enel Gdf SWAF	Montor	1999	2022	1999	2022	2.5	3.5
117	24 Nigeria	France		Gdf	Montor	1999	2022	1999	2022	0.3	0.5
117	3 Nigeria	Mexico		Shell	Atamira	2006	2026	2006	2026	0.0	0.0
117	Nigeria	Unspecified		Shell	Unspecified	2005	2025	2005	2025	1.5	2.1
117	Nigeria	Unspecified		Total	Unspecified	2005	2026	2005	2026	1.1	1.5
117	Nigeria	Unspecified		BP	Brass LNG	2016	2035	2018	2037	2.0	2.8
117	Nigeria	Unspecified		BP	Brass LNG	2016	2035	2018	2037	2.0	2.8
117	Nigeria	Unspecified		Suez	Brass LNG	2016	2035	2022	2041	2.0	2.8



***VII Мелентьевские чтения  
«Прогнозирование развития мировой и российской  
энергетики: подходы, проблемы, решения»***

***В. А. Кулагин***

***А. А. Галкина***

***Центр изучения мировых энергетических рынков ИНЭИ РАН***

**Спасибо за внимание**

**Институт энергетических исследований РАН**

