

**ҚАЗАҚСТАН-БРИТАН ТЕХНИКАЛЫҚ
УНИВЕРСИТЕТІНІҢ
ХАБАРШЫСЫ**

**HERALD
OF THE KAZAKH-BRITISH TECHNICAL
UNIVERSITY**

**ВЕСТНИК
КАЗАХСТАНСКО-БРИТАНСКОГО
ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА**

Volume 18, Issue 4
October-December 2021

**ҚАЗАҚСТАН-БРИТАН ТЕХНИКАЛЫҚ УНИВЕРСИТЕТІНІҢ
ХАБАРШЫСЫ**

**HERALD
OF THE KAZAKH-BRITISH TECHNICAL UNIVERSITY**

**ВЕСТНИК
КАЗАХСТАНСКО-БРИТАНСКОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА**

Алматы

№ 4 (59)

2021

Главный редактор – **Кулпешов Б.Ш.**

ЧЛЕНЫ РЕДКОЛЛЕГИИ:

**Акжолова А.Ж., Асилбеков Б.К., Ахметжанов А.А., Баженов Н.А.,
Байжанов Б.С., Бейсенханов Н.Б., Бисембаев А.С., Буркитбаев М.М.,
Зазыбин А.Г., Ивахненко А.П., Исахов А.А., Исмаилов А.А.,
Kang Wanli, Кожабеков С.С., Колесников А.В., Коробкин В.В.,
Курбатов А.П., Нусупов К.Х., Пак А.А., Сарсенбекулы Б., Судоплатов С.В.,
Тургазинов И.К., Умаров Ф.Ф., Шамои П.С.**

Издание зарегистрировано Министерством культуры и информации Республики Казахстан.
Свидетельство о постановке на учет СМИ № 9757 – Ж от 03.12.2008 г.

Журнал зарегистрирован в Международном центре по регистрации сериальных изданий ISSN
(ЮНЕСКО, г. Париж, Франция)

Подписной индекс – 74206

Издается с 2004 года. Выходит 4 раза в год.

УЧРЕДИТЕЛЬ
Казахстанско-Британский технический университет

ISSN 1998-6688

© Казахстанско-Британский
технический университет, 2021.

МАЗМҰНЫ

МҰНАЙ ГАЗ ИНЖЕНЕРИЯСЫ ЖӘНЕ ГЕОЛОГИЯ

Бақытжан Н.А., Измаханова А.М.

Ұңғымаларды тексеру және сынау нәтижелері мен әдістемесі.....6

Заурбеков К.С., Баймухаметов М.А., Заурбеков С.А., Жанкиманова Г.Н.

САГД әдісі және Қазақстанның ауыр мұнай кен орындары үшін қолдану мүмкіндігі.....12

ФИЗИКА-МАТЕМАТИКА ЖӘНЕ ТЕХНИКАЛЫҚ ҒЫЛЫМДАР

Бақытбек Б., Бектембаева А.Р.

Секторда жұмыс жасау, ұсыныстар және талапты талдау.....20

Судоплатов С.В.

Реттелген теориялардың Е-комбинацияларының 1-ажыратылмауы туралы.....26

СОДЕРЖАНИЕ

НЕФТЕГАЗОВАЯ ИНЖЕНЕРИЯ И ГЕОЛОГИЯ

Бакытжан Н., Измаханова А.

Методика и результаты опробования и испытания скважин.....6

Заурбеков К.С., Баймухаметов М.А., Заурбеков С.А, Жанкиманова Г.Н.

Метод SAGD и возможность применения для месторождений
тяжелых нефтей Казахстана.....12

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Бақытбек Б., Бектембаева А. Р.

Моделирование, рекомендации и анализ спроса планирования в секторе.....20

Судоплатов С.В.

Об 1-неразличимости E-комбинаций упорядоченных теорий.....26

CONTENTS

OIL AND GAS ENGINEERING, GEOLOGY

Bakytzhan N.A., Izmakhanova A.M.

Procedure and results of testing and testing of wells.....6

Zaurbekov K.S., Baymukhametov M.A., Zaurbekov S.A, Zhankimanova G.N.

SAGD method and possibility of application for heavy oil fields of Kazakhstan.....12

PHYSICAL, MATHEMATICAL AND TECHNICAL SCIENCES

Bakytbek B., Bektembayeva A.R.

Modelling, recommendation and analysis of demand planning in fmcc.....20

Sudoplatov S.V.

On 1-indiscernibility of E-combinations of ordered theories.....26

МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ОПРОБОВАНИЯ И ИСПЫТАНИЯ СКВАЖИН

Бакытжан Н.А., Измаханова А.М.

Казахстанско-Британский технический университет,
050000, Алматы, Казахстан

Аннотация. В статье приведены результаты опробования, исследования, пробной эксплуатации нефтяных скважин на месторождении N. Объектами опробования в поисковой стадии являлись практически все пласты, имеющие благоприятную геолого-геофизическую характеристику. При испытании скважин получены притоки нефти дебитами от 12 до 31 м³/сут на штуцерах 2–5 мм (скважина № 3) и от 45 до 72 м³/сут на штуцерах 8–12 мм (скважина № 5). Изучение материалов опробования скважин показывает, что здесь нет активного водонапорного режима, и в условиях выклинивания продуктивных коллекторов на небольших расстояниях обычно он не наблюдается. Этому способствует также наличие ряда разломов, отсекающих продуктивные пласты от остальной части резервуара. Согласно геолого-геофизической и промысловой информации по месторождению N нефтяные залежи в верхнеюрских отложениях являются пластовыми. Мировой рынок нефти характеризуется относительной стабильностью спроса и предложений. По имеющимся прогнозам, мировая потребность в углеводородном сырье, вероятно, будет расти и цены на нефть, по прогнозам экспертов, будут подниматься до 100 и более долларов США за один баррель. В этих условиях разработка нефти всегда будет рентабельной.

Ключевые слова: бурение, опробование, продуктивный горизонт, скважина, дебит, пластовое давление.

ҰҢҒЫМАЛАРДЫ ТЕКСЕРУ ЖӘНЕ СЫНАУ НӘТИЖЕЛЕРІ МЕН ӘДІСТЕМЕСІ

Бакытжан Н.А., Измаханова А.М.

Қазақстан-Британ техникалық университеті,
050000, Алматы, Қазақстан

Аңдатпа. Жүргізілген зерттеудің мақсаты N кенорнында мұнай ұңғымаларын сынау, зерттеу, сынақтық пайдалану нәтижелері берілген. Іздестіру сатысында сынақ объектілері іс жүзінде қолайлы геологиялық және геофизикалық сипаттамалары бар барлық қабаттар болды. Ұңғымаларды өндірістік корпус арқылы сынау кезінде 2-5 мм дрессельдерде (№3 ұңғыма) 12-ден 31 м³/тәу дейін және 8-12 мм дрессельдерде 45-тен 72 м³/тәу дейін мұнай ағыны алынды (№5 ұңғыма). Ұңғымаларды сынау жұмыстарын жүргізу материалдарын зерттеу (механикаландырылған жұмысқа тез көшу) су қысымының белсенді режимі жоқ екенін көрсетеді, ал өнімді коллекторлардан қысқа қашықтықта сыну жағдайында әдетте байқалмайды. Бұған су қоймасының қалған бөлігінен өнімді түзілімдерді ажырататын бірқатар ақаулардың болуы да көмектеседі. N кенорнындағы геологиялық, геофизикалық және далалық мәліметтерге сәйкес, жоғарғы юра шөгінділеріндегі мұнай кенорындары қабатты. Әлемдік мұнай нарығы салыстырмалы түрде тұрақты сұраныс пен ұсыныспен сипатталады. Қолда бар болжам бойынша көмірсутек шикізатына әлемдік сұраныс

өсуі ықтимал, ал сарапшылардың болжамы бойынша мұнай бағасы барреліне 100 АҚШ долларына дейін немесе одан да жоғары болады. Мұндай жағдайда мұнайды игеру әрқашан тиімді болады.

Түйінді сөздер: бұрғылау, сынау, өнімді көкжиек, ұңғыма, ағын жылдамдығы, қабат қысымы.

PROCEDURE AND RESULTS OF TESTING AND TESTING OF WELLS

Bakytzhan N.A., Izmakhanova A.M.

*Kazakh-British Technical University,
050000, Almaty, Kazakhstan*

Abstract. The article presents the results of testing, research, trial operation of oil wells at the N field. The objects of sampling in the prospecting stage were practically all layers with favorable geological and geophysical characteristics. When testing wells through the production casing, oil inflows were obtained with flow rates from 12 to 31 m³/day at chokes 2-5 mm (well №3) and from 45 to 72 m³/day at chokes 8-12 mm (well №5). The study of the materials of well testing shows that there is no active water pressure regime, and in conditions of wedging out of productive reservoirs at short distances, it is usually not observed. This is also facilitated by the presence of a number of faults that cut off productive formations from the rest of the reservoir. According to geological, geophysical and field information on the N field, oil deposits in the Upper Jurassic deposits are stratal. The world oil market is characterized by a relatively stable supply and demand. According to available forecasts, the world demand for hydrocarbon raw materials is likely to grow and oil prices, according to experts' forecasts, will rise to USD 100 or more per barrel. Under these conditions, oil development will always be profitable.

Key words: drilling, testing, productive horizon, well, flow rate, reservoir pressure.

Введение

Месторождение N в административном отношении находится в Кызылординской области Республики Казахстан. Месторождение приурочено к Арыскупскому прогибу Южно-Торгайской впадины.

Прогиб выполнен осадочными отложениями мезо-кайнозоя в составе двух структурных ярусов (рисунок 1, стр. 8): тафрогенного (рифтогенного) юрской системы и платформенного мела-палеогена. Основанием осадочных отложений является складчатый метаморфический комплекс протерозоя, местами нижнего палеозоя (кембрия-ордовика), а также блоки отложений среднего палеозоя (девона и нижнего карбона). Последние относятся в регионе к квазиплатформенному структурному этажу, с перерывом в осадконакоплении и угловыми несогласиями перекрытому отложениями юры и мела.

Юрский рифтогенный структурный ярус выполняет систему асимметричных грабен-синклиналей (Арыскупская, Акшабулакская, Сарыланская и Бозингенская) и представлен тремя ритмокомплексами отложений, каждый из которых в нижней части представлен обломочными отложениями, а в верхней – глинистыми, выделенными в ранге свит: нижнеюрским (сазымбайская и айбалинская свиты), ниже-среднеюрским (дошанская и карагансайская свиты) и верхнеюрским (кумкольская и акшабулакская свиты). Размеры грабен-синклиналей 200–250 км в длину при ширине 20–30 км, с суммарной толщиной юрского разреза до 5 км.

Горст-антиклинали осложнены выступами домезозойского фундамента с выпадением на их наиболее поднятых частях отложений всего рифтогенного яруса, за исключением отдельных выступов (Кумколь, Арыс), в строении которых участвует

верхнеюрский ритмокомплекс. На остальных выступах, на породах фундамента залегают отложения платформенного яруса, базальная часть которого редуцирована на отдельных участках.

Верхнеюрский ритмокомплекс участвует в строении бортовых частей горст-антиклиналей и ограничен в распространении конседиментационными разломами, представляющими уступы по поверхности фундамента. Аналогичные конседиментационные разломы ограничивают распространение ниже-среднеюрского ритмокомплекса в зонах сочленения горст-антиклиналей и грабен-синклиналей и нижеюрского ритмокомплекса в их внутренних частях.

Поисково-разведочное бурение

Поиски залежей нефти на месторождении N были начаты в конце 1989 г. бурением скважины № 3 на ловушке неантиклинального типа, выявленной и изученной Турланской ГФЭ по ОГ-IV (кровля караганскайской свиты).

Скважина № 3 установила обводненность коллекторов дощанской свиты, но выявила нефтенасыщенный горизонт в средней части верхнекумкольской подсвиты, давший промышленный приток нефти.

В первой половине 90-х годов поисковое бурение было продолжено, и в 1994 г. бурением скважины № 10, установившей литологическое замещение продуктивного горизонта, вскрытого скважиной № 3, непроницаемыми глинистыми алевролитами с тонким прослоем нефтенасыщенного коллектора. Опробованием ИП на трубах двух интервалов получены притоки воды с непромышленными притоками нефти, в связи с чем скважина ликвидирована. Буровые работы были остановлены.

Методика и результаты опробования, испытания скважин

Опробование скважин в эксплуатационных колоннах на месторождении проводилось

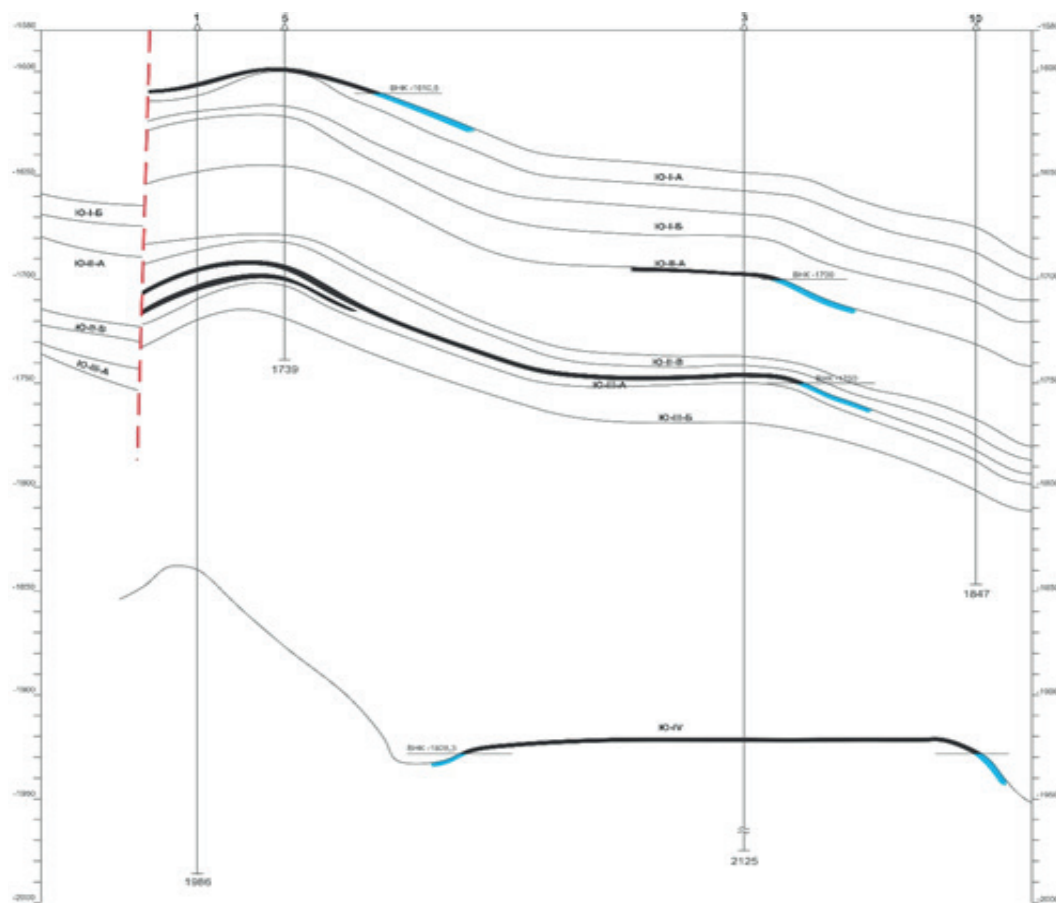


Рисунок 1 – Геолого-литологический разрез месторождения N

по общепринятой методике: вскрытие, вызов притока, проведение комплекса исследовательских работ, задавка и изоляционные работы.

Объектами опробования в поисковой стадии являлись практически все пласты, имеющие благоприятную геолого-геофизическую характеристику.

Вскрытие продуктивных горизонтов проводилось в скважинах, заполненных глинистым раствором с теми же параметрами, с которыми вскрывался продуктивный горизонт при бурении, с обязательной привязкой по ГК. При этом использовались кумулятивные перфораторы типа ПКС-80, ПКС-105 и ЗПКО-102 DN-01 плотностью зарядов от 12 до 14 отверстий на один погонный метр. Точность интервала перфорации контролировалась записью термометрии и дефектоскопией. Перед опробованием скважины проводилась запись АКЦ для контроля за качеством цементационных колонн. После окончания опробования объекты изолировались установкой цементных мостов или взрыв-пакеров, герметичность которых определялась опрессовкой на 15-20 МПа или снижением уровня с последующим прослеживанием через 2 часа в течение суток.

В процессе опробования применялись насосно-компрессорные трубы диаметром 73 мм (НКТ) отечественного и зарубежного производства, спускаемые на 5–10 метров выше кровли вскрытого интервала. Вызов притока осуществлялся путем снижения забойного давления с целью создания депрессии на пласт, заменой глинистого раствора на нефть с последующей продувкой компрессором ДКС-250,-9/101 или аэризацией с помощью ЦА-320. После получения притока нефти из пласта производилась очистка скважины через 7–10 мм штуцер до восстановления естественных фильтрационно-емкостных свойств пласта. Показателем качественной очистки являлось стабильное фонтанирование нефти и отсутствие фильтра бурового раствора и твердых частиц, что определялось при работе через сепаратор.

В зависимости от полученного притока пластового флюида проводился соответствующий комплекс исследований. При получении фонтанирующего притока нефти исследовательские работы начинали с замера начального пластового давления, пластовой температуры глубинными манометрами. В период замера рост давления регистрировался показаниями устьевых манометров через 3–10 мин. в начале и 30–60 мин. в конце. Давление считалось восстановленным, когда показания повторялись три раза в пределах погрешности манометров. После восстановления давления производился замер градиента давления по стволу через каждые 50 м с выдержкой в каждой точке по одному часу. При необходимости отбора глубинной пробы из объекта скважина переводилась на 1,5–2 мм штуцер и производился отбор глубинной пробы пробоотборником ВПП-300 в количестве 3 проб. Затем исследование производилось методом установившихся отборов на 3–5 режимах, и после максимального режима скважина закрывалась на КВД с постоянной регистрацией измерения давления на забое и на устье до выхода на статическое положение.

В случае получения нефонтанирующих притоков нефти или воды исследования проводились методом прослеживания уровня. Состав жидкости по стволу при прослеживании уровня контролируется постоянным отбором по стволу с помощью желонки. В холодное время года при исследовании скважин использовались передвижные паровые установки ППУ-100-1200.

По окончании исследований отбирались пробы нефти, газа и пластовой воды на химический анализ и пробы нефти на товарно-технологический анализ.

Горизонт Ю-I. Продуктивность горизонта установлена опробованием одного объекта в скважине № 1. Дебит нефти составил 15 м³/сут на 5 мм штуцере.

Горизонт Ю-II. По этому горизонту продуктивность скважин установлена опробованием 2 объектов в скважинах № 3 и 7. В скважине № 3 получен приток слабо-

переливающей нефти дебитом 0,51 м³/сут, в скважине №7 на 6 мм штуцере дебит нефти составил 2 м³/сут.

Горизонт Ю-III. Определение продуктивности горизонта проведено опробованием 4 объектов в скважинах № 1, 3, 5, 6.

В скважине № 1 дебит нефти на 3 мм штуцере составил 10 м³/сут.

В скважине № 3 дебит нефти составил

31,25 м³/сут на 5 мм штуцере, где 6 горизонт представлен как водонефтяной.

Дебит нефти на 8 мм штуцере в скважине № 5 равен 40,5 м³/сут. После проведения изоляционных работ водопритока получен приток жидкости дебитом 30 м³/сут, обводненность – 1,4%. Результаты опробования и исследований приведены в таблице 1

Таблица 1 – Результаты опробования и исследования скважин

№ скважины, горизонта	Интервал опробования, м	Способ вскрытия горизонта	Способ опробования горизонта	Примечание
Скв. № 1	I	1955,6-1956,9	ЗПКО-10 DN-01 плотн. 17 отв/м.	Притока не получено
	II	1779,5-1782,4		Пульсирующий приток нефти
	III	1742-1755		Получен приток пластовой воды
Скв. № 3	I	2082-2092	ПКС-80	–
	II	1828-1832		Объект нефтеносный
	III	1817-1821		Объект водоносный
	IV	1779-1782; 1791-1794	ПКС-105 всего 72 отв.	Объект водонефтяной
Скв. № 5	1772,8-1775,1	ЗПКО 105DN-01 плотн. 17отв/м.	Замена рассола в скважине на нефть	–

Вывод

В связи с вышеприведенными причинами разработка месторождения N будет эффективнее с поддержанием пластового давления. Но при этом необходимо учитывать, что залежи здесь небольшие по запасам, разрозненные по блокам, и вряд ли будет эконо-

мически целесообразным применение методов поддержания пластового давления при разработке всех выявленных залежей. Поэтому необходимо предусмотреть закачку воды на залежи с относительно большими запасами нефти.

ЛИТЕРАТУРА

1. Долгих Л.Н. Крепление, испытание и освоение нефтяных и газовых скважин. – Пермь: ПГТУ, 2007. – 189 с.
2. Шаисламов Ш.Г., Миндияров С.Б. Геофизические исследования и работы в скважинах. – Уфа, 2010. – 228 с.
3. Головин Б.А., Кожевников С.В., Мельников И.Г., Моисеенко А.С., Нестерова Т.Н., Чекалин Л.М., Шакиров А.Ф. Геолого-технологические исследования скважин. – М., 1993. – 240 с.
4. Басарыгин Ю.М., Будников В.Ф., Булатов А.И., Проселков Ю.М. Технологические основы освоения и глушения нефтяных и газовых скважин : Учеб. для вузов. – М.: ООО «Недра-Бизнес-центр», 2001. – 543 с.

5. Спивака А.И. Технология бурения нефтяных и газовых скважин : Учеб. для вузов. – М.: ООО «Недра-Бизнес-центр», 2003. – 509 с.
6. Булатов А.И., Качмарь Ю.Д., Макаренко П.П., Яремийчук Р.С. Освоение скважин : Справочное пособие. – М.: Недра, 1999.
7. Ловля С.А. Прострелочно-взрывные работы в скважинах. – М.: Недра, 1987.
8. Фридляндер Л.Я. Прострелочно-взрывная аппаратура и ее применение в скважинах. – М.: Недра, 1985.
9. Бурцев М.И. Поиски и разведка месторождений нефти и газа : Учеб. пособие. – М.: Изд-во РУДН, 2006. – 263 с.
10. Ивачев Л.М. Промысловые жидкости и тампонажные смеси: Учеб. для вузов. – М.: Недра, 1987.

REFERENCES

1. Dolgih L.N. (2007) Kreplenie, ispytanie i osvoenie nefjtjanyh i gazovyh skvazhin. – Perm': PGU. – 189 p.
2. Shaislamov Sh.G., Mindijarov S.B. (2010) Geofizicheskie issledovanija i raboty v skvazhinah. – Ufa. – 228 p.
3. Golovin B.A., Kozhevnikov S.V., Mel'nikov I.G., Moiseenko A.S., Nesterova T.N., Chekalin L.M., Shakirov A.F. (1993) Geologo-tehnologicheskie issledovanija skvazhin. – M. – 240 p.
4. Basarygin Ju.M., Budnikov V.F., Bulatov A.I., Proselkov Ju.M. (2001) Tehnologicheskie osnovy osvoenija i glushenija nefjtjanyh i gazovyh skvazhin : Ucheb. dlja vuzov. – M.: ООО «Недра-Бизнес-центр». – 543 p.
5. Spivaka A.I. (2003) Tehnologija burenija nefjtjanyh i gazovyh skvazhin : Ucheb. dlja vuzov. – M.: ООО «Недра-Бизнес-центр». – 509 p.
6. Bulatov A.I., Kachmar' Ju.D., Makarenko P.P., Jaremiychuk R.S. (1999) Osvoenie skvazhin : Spravochnoe posobie. – M.: Nedra.
7. Lovlja S.A. (1987) Prostrelочно-vzryvnye raboty v skvazhinah. – M.: Nedra.
8. Fridljander L.Ja. (1985) Prostrelочно-vzryvnaja apparatura i ee primenenie v skvazhinah. – M.: Nedra.
9. Burcev M.I. (2006) Poiski i razvedka mestorozhdenij nefiti i gaza : Ucheb. posobie. – M.: Izd-vo RUDN. – 263 p.
10. Ivachev L.M. (1987) Promyvochnye zhidkosti i tamponazhnye smesi: Ucheb. dlja vuzov. – M.: Nedra.

Information about authors:

1. Bakytzhan Nuray Altynbekkyzy

Master student, Kazakh-British Technical University, Tole bi st., 59, Almaty, Kazakhstan

ORCID ID: 0000-0001-7546-4078

E-mail: nuraika9898@mail.ru

2. Izmakhanova Assem Mahmudovna (Corresponding author)

Master student, Kazakh-British Technical University, Tole bi st., 59, Almaty, Kazakhstan

ORCID ID: 0000-0002-7175-9239

E-mail: aseema1098@gmail.com

**МЕТОД SAGD И ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ДЛЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ
ТЯЖЕЛЫХ НЕФТЕЙ КАЗАХСТАНА****Заурбеков К.С., Баймухаметов М.А., Заурбеков С.А., Жанкиманова Г.Н.***Казахский Национальный исследовательский технический университет
имени К.И. Сатпаева, 050000, Алматы, Казахстан*

Аннотация. Добыча высоковязких нефтей в настоящее время становится все более актуальной в связи с истощением традиционных месторождений нефти и газа. В связи с истощением запасов средних и легких нефтей нефтегазодобывающей отрасли придется уделять все большее внимание освоению и вводу в промышленную разработку месторождений тяжелых, высоковязких трудноизвлекаемых нефтей. Добыча, подготовка и транспортировка таких нефтей часто осложняются и порой невозможны из-за ее низкой подвижности по причине высокой вязкости этой нефти. Поле научной деятельности при вводе в разработку тяжелых высоковязких нефтей расширяется. В мире легкие нефти извлекаются не более 50%, тяжелые высоковязкие нефти в пределах от 10 до 30% в зависимости от характеристики нефти, воды и коллектора. Для разработки залежей тяжелых нефтей наибольший интерес представляют тепловые методы добычи. Тепловые методы разработки нефтяных месторождений делятся на два принципиально различных вида. Первый, основанный на внутрипластовых процессах горения, создаваемых путем инициирования горения коксовых остатков в призабойной зоне нагнетательных скважин с последующим перемещением фронта горения путем нагнетания воздуха (сухое горение) или воздуха и воды (влажное горение). Второй основан на нагнетании (с поверхности) теплоносителей в нефтяные пласты. Суть тепловых методов добычи заключается в закачке теплоносителя – пара в продуктивный пласт для снижения вязкости нефти. Из целого ряда тепловых методов наибольший интерес представляет технология парогравитационного воздействия на продуктивный пласт (SAGD).

Ключевые слова: высоковязкая нефть, тяжелая нефть, пар, парогравитационное воздействие.

**САГД ӘДІСІ ЖӘНЕ ҚАЗАҚСТАННЫҢ АУЫР МҰНАЙ КЕН ОРЫНДАРЫ ҮШІН
ҚОЛДАНУ МҰМКІНДІГІ****Заурбеков К.С., Баймухаметов М.А., Заурбеков С.А., Жанкиманова Г.Н.***Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ Ұлттық техникалық
зерттеу университеті, 050000, Алматы, Қазақстан*

Аңдатпа. Дәстүрлі мұнай-газ кен орындарының сарқылуына байланысты тұтқырлығы жоғары мұнай өндіру қазіргі кезде маңызды бола бастады. Ауыр мұнай кен орындарын игеру үшін термиялық алу әдістері үлкен қызығушылық тудырады. Термиялық өндіріс әдістерінің мәні мұнай тұтқырлығын төмендету үшін резервуарға жылу тасымалдағыш – бу айдау болып табылады. Мұндай мұнайды өндіру, дайындау және тасымалдау көбінесе күрделене түседі және кейде бұл мұнайдың жоғары тұтқырлығына байланысты оның төмен қозғалғыштығына байланысты мүмкін емес. Ауыр тұтқырлығы жоғары мұнайды игеруге енгізу кезінде ғылыми қызмет аясы кеңейде. Әлемде жеңіл мұнай 50%-дан аспайды, ауыр

тұтқырлығы жоғары мұнайдың, судың және коллектордың сипаттамаларына байланысты 10-нан 30%-ға дейін шығарылады. Ауыр мұнай кен орындарын игеру үшін жылу өндіру әдістері үлкен қызығушылық тудырады. Мұнай кен орындарын игерудің жылу әдістері түбегейлі әр түрлі екі түрге бөлінеді. Бірінші, негізделген внутривластовых процестер жану жолымен құрылатын бастамашыл жану кокс қалдықтарын кенді аймағында айдау ұңғымаларының кейіннен өткізуге майдан жану арқылы ауаны айдау (құрғақ жану) немесе ауаны және суды (ылғалды жану). Екіншісі жылу тасымалдағыштарды мұнай қабаттарына айдауға (бетінен) негізделген. Өндірудің жылу әдістерінің мәні мұнайдың тұтқырлығын төмендету үшін салқындатқыш – буды өнімді қабатқа айдау болып табылады. Бірқатар термиялық әдістердің ішіндегі ең қызықтысы – су қоймасының бу көмегімен тартылу стимуляциясының технологиясы (SAGD).

Түйінді сөздер: тұтқырлығы жоғары мұнай, ауыр май, бу, бу-гравитациялық әсер.

SAGD METHOD AND POSSIBILITY OF APPLICATION FOR HEAVY OIL FIELDS OF KAZAKHSTAN

Zaurbekov K.S., Baymukhametov M.A., Zaurbekov S.A., Zhankimanova G.N.

Satbayev University, 050000, Almaty, Kazakhstan

Abstract. The production of high-viscosity oils is now becoming more and more important due to the depletion of traditional oil and gas fields. For the development of deposits of heavy oils, thermal extraction methods are of greatest interest. The essence of thermal production methods is the injection of a heat carrier – steam into the reservoir to reduce the viscosity of oil. The extraction, preparation and transportation of such oils is often complicated and sometimes impossible due to its low mobility due to the high viscosity of this oil. The field of scientific activity during the commissioning of heavy high-viscosity oils is expanding. In the world, light oils are extracted no more than 50%, heavy high-viscosity oils in the range of 10 to 30%, depending on the characteristics of oil, water and reservoir. Thermal extraction methods are of the greatest interest for the development of heavy oil deposits. Thermal methods of oil field development are divided into two fundamentally different types. The first is based on intra-layer combustion processes created by initiating the combustion of coke residues in the bottom-hole zone of injection wells, followed by the movement of the combustion front by pumping air (dry gorenje gorenje gorenje gorenje gorenje) or air and water (wet gorenje). The second is based on the injection (from the surface) of heat carriers into oil formations. The essence of thermal extraction methods is the injection of a coolant – steam into a productive reservoir to reduce the viscosity of oil. Of a number of thermal methods, the most interesting is the technology of steam-assisted gravity stimulation of a reservoir (SAGD).

Key words: high-viscosity oil, heavy oil, steam, steam-gravity impact.

Введение

Месторождения нефти с небольшой глубиной залегания продуктивных пластов с фонтанирующей нефтью в настоящее время встречаются очень редко. Открываемые месторождения нефти характеризуются большой глубиной залегания продуктивных залежей. Добывать нефть становится все сложнее.

Эра легкой нефти (как по плотности, так и по легкости ее извлечения из недр) подходит к концу. Наступает эра тяжелой нефти.

По оценкам целого ряда ученых, легкая нефть кончится уже в первой половине этого века. В странах, не входящих в ОПЕК, она кончится еще раньше – через 20–25 лет. Но в целом нефтяные запасы еще далеки от

истощения. В недрах есть огромные запасы тяжелой, или, как ее еще называют, битумной нефти. Нефти, которую до недавнего времени даже не пытались добывать. За исключением разве что единичных экспериментальных попыток [1].

В последнее время наблюдается снижение объемов добычи нефти в связи с истощением крупных месторождений как в Казахстане, так и в мире. В связи с этим все большее внимание уделяется месторождениям с тяжелой нефтью и битумами.

Данные месторождения характеризуются высокой вязкостью нефти 10 000–45 000 мПа·с. Применяемые методы добычи таких нефтей должны обеспечить снижение вязкости и обеспечить текучесть нефти для ее извлечения.

Так, еще в 1987 г. на XII Мировом нефтяном конгрессе в г. Хьюстоне была принята общая схема классификации нефтей и природных битумов:

- легкие нефти – с плотностью менее 870,3 кг/м³;
- средние нефти – 870,3–920,0 кг/м³;
- тяжелые нефти – 920,0–1000 кг/м³;

- сверхтяжелые нефти – более 1000 кг/м³ при вязкости менее 10 000 мПа·с;
- природные битумы – более 1000 кг/м³ при вязкости свыше 10 000 мПа·с.

Природные битумы – это окисленные высоковязкие, плотные нефти жидкой, полужидкой и твердой консистенции с высоким содержанием серы, масел, смол и асфальтенов. Отличаются большим содержанием ванадия, никеля, молибдена и значительно меньшим (до 25%) содержанием бензиновых и дизельных фракций.

Обычно, когда говорят о тяжелой нефти, подразумевают как тяжелую нефть, так и сверхтяжелую нефть и часто природные битумы в том числе.

Разведанные мировые запасы тяжелой нефти на данный момент насчитывают, по данным Геологической службы США, порядка 3385 млрд баррелей (464 млрд т), их распределение по регионам мира показано на рисунке 1. Данные запасы представляют большой интерес в освоении объемов тяжелой нефти, но при этом существенно усложняется технология добычи и возрастают затраты на извлечение такой нефти.



Рисунок 1 – Мировые запасы тяжелой нефти [1]

Основная часть

Добыча тяжелой нефти требует применения новых, нетрадиционных подходов. Существуют различные способы разработки залежей тяжелых нефтей и природных битумов, которые различаются технологическими и экономическими характеристиками. Условно технологии и способы разработки залежей тяжелых нефтей и природных битумов, которые испытывались и нашли применение в практике добычи нефти, можно подразделить на три группы [2].

- карьерный и шахтный способы разработки;
- так называемые холодные способы добычи;
- тепловые методы добычи.

Правильный выбор той или иной технологии обуславливается геологическим строением и условиями залегания пластов, физико-химическими свойствами пластового флюида, состоянием и запасами углеводородного сырья, климатическими, географическими условиями и др.

В Канаде начиная с середины 80-х годов

XX века благодаря инвестициям в научно-исследовательские проекты в области тепловых методов добычи, а также с развитием технологии горизонтального бурения в Канаде была разработана технология парогравитационного воздействия с применением двух горизонтальных скважин, более известная в мировой промышленности как SAGD (Steam Assisted Gravity Drainage). Технология SAGD стала промышленным стандартом разработки запасов битума на территории Канады [3].

В классическом понимании технология SAGD требует бурения двух горизонтальных скважин, расположенных параллельно одна над другой. Скважины бурятся через нефтенасыщенные толщины вблизи подошвы пласта. Расстояние между двумя скважинами, как правило, составляет 5 м. Длина горизонтальных стволов достигает 1000 м. Верхняя горизонтальная скважина используется для нагнетания пара в пласт и создания высокотемпературной паровой камеры, как показано на рисунке 2.

Технология добычи тяжелой нефти - SAGD (Steam Assisted Gravity Drainage)



Рисунок 2 – Технология добычи тяжелой нефти методом SAGD

Процесс парогравитационного воздействия начинается со стадии предпрогрева, в течение которой (несколько месяцев) производится циркуляция пара в обеих скважинах. При этом за счет кондуктивного переноса тепла осуществляется разогрев зоны пласта между добывающей и нагнетательной скважинами, снижается вязкость нефти в этой зоне и тем самым обеспечивается гидродинамическая связь между скважинами [4].

На основной стадии добычи производится уже нагнетание пара в нагнетательную скважину. Закачиваемый пар из-за разницы плотностей пробивается к верхней части продуктивного пласта, создавая увеличивающуюся в размерах паровую камеру. На поверхности раздела паровой камеры и холодных нефтенасыщенных толщин постоянно происходит процесс теплообмена, в результате которого пар конденсируется в воду и вместе с разогретой нефтью стекает вниз к добывающей скважине под действием силы тяжести.

Рост паровой камеры вверх продолжается до тех пор, пока она не достигнет кровли пласта, после чего она начинает расширяться в стороны. При этом нефть всегда находится в контакте с высокотемпературной паровой камерой. Таким образом, потери тепла минимальны, что делает этот способ разработки выгодным с экономической точки зрения.

Первый пилотный проект SAGD был отработан канадскими разработчиками на крупнейшей в мире залежи природных битумов – на песчаниках Атабаска в Канаде. В течение первой стадии проекта в 1988 г. было пробурено три пары скважин с длиной горизонтального участка 60 м. В этих скважинах была отработана классическая схема парогравитационного дренажа. КИН по элементу составил 50%, а накопленное паронефтяное соотношение не превысило 2,5, что подтвердило экономическую рентабельность проекта. На следующей стадии проекта в 1993 г. была начата коммерческая

разработка залежи тремя парами скважин с длиной горизонтального участка 500 м. Для мониторинга процесса разработки была пробурена 21 наблюдательная скважина, оборудованная термopарами и пьезометрическими датчиками давления [5].

В другой крупнейшей по запасам тяжелых углеводородов стране Венесуэле первый пилотный проект SAGD был запущен в декабре 1997 г. Результаты опытных работ показали, что разработка залежей высоковязкой нефти (10 000–45 000 мПа·с) новым методом повышает КИН до 60% по сравнению с 10% при циклической паротепловой обработке скважин.

В соседней с нами России испытание метода парогравитационного дренажа проводится с 1999 г. на Ашальчинском месторождении (Республика Татарстан). Данное месторождение характеризуется небольшой глубиной залегания продуктивного пласта: кровля пласта – 72,2 м, подошва пласта – 110 м. Получены высокие результаты по парогравитационному воздействию на пласт. Так, добыча жидкости возросла в течение 8 лет с 14,6 тыс. т до 197,3 тыс. т, а нефти, соответственно, с 1 тыс. т до 39,8 тыс. т. При этом отмечается, что по мере выработки запасов вязкость добываемой нефти увеличивается, т. е. сначала добывается менее вязкая нефть, а затем по мере увеличения температуры и прогрева пласта начинает работать весь объем пласта, притекает нефть с более высокой вязкостью, и средняя вязкость нефти возрастает [6].

В Казахстане метод SAGD на текущий момент не нашел практического применения. Компанией Conoco Phillips был произведен анализ месторождений высоковязких нефтей и природного битума Казахстана с целью определения наиболее целесообразной технологии для месторождений Казахстана. На рисунке 3 (стр. 17) представлены технологии, наиболее подходящие для высоковязких месторождений Казахстана [7].



Рисунок 3 – Технологии добычи высоковязких нефтей

Как видно из рисунка 3, наиболее целесообразными технологиями для Казахстана являются SAGD и VAPEX. Применение той или иной технологии добычи обусловлено геологическими условиями, физико-химическими свойствами, состоянием и запасами и рядом других факторов.

Для месторождений с глубиной залегания продуктивных пластов с высоковязкой нефтью 200 м и до 1000 м наиболее перспективными являются технологии, относящиеся к тепловым методам добычи, к которым относятся [8]:

- циклическое нагнетание пара (CSS);
- вытеснение нефти паром (SD);
- парогравитационный режим закачки (SAGD);
- экстракция растворителем в паровой фазе (VAPEX);
- парогравитационное воздействие с добавкой растворителя – (ES-SAGD);
- процесс с добавкой растворителя – (SAP);
- чередование закачки пара и растворителя – (SAS).

При планировании разработки необходимо учитывать возможные проблемы, возникающие при эксплуатации подобных месторождений [9]:

- высокая депрессия в скважинах и низкие дебиты;
- влияние характеристик пласта – образование водного барьера, конусообразование, вспенивание нефти и др.;
- трудности при механизированной добыче и транспортировке;
- проблемы загрязнения окружающей среды при использовании пара, загрязнение воздуха и поверхности земли и т. д.;
- наличие источников воды при тепловых методах;
- очень низкие коэффициенты нефтеотдачи по сравнению с традиционными методами разработки нефтяных месторождений;
- необходимость дополнительной информации при мониторинге разработки;
- неопределенности прогноза добычи;
- борьба с выносом песка.

При использовании метода SAGD для добычи тяжелых нефтей существует несколько ключевых проблем, которые компании, использующие технологию SAGD, должны преодолеть, чтобы достичь рентабельности технологии, такие как:

- достижение максимальной энергоэффективности;
- оптимальный процесс разделение нефти и воды;

- очистка воды для повторного использования в производстве пара.

Необходимость модификаций SAGD обусловлена стремлением улучшить экономические показатели проектов, учесть конкретные геолого-физические условия месторождения, а также жесткими требованиями в области охраны окружающей среды. Проекты SAGD являются крупнейшими потребителями пресной воды в регионах добычи, а плата за выбросы парниковых газов при производстве пара уже в обозримом будущем может стать весомой статьей затрат [10].

При этом также надо отметить, что преимущества технологии парогравитационного дренажа (SAGD) – это:

- высокий коэффициент извлечения нефти (КИН) – при благоприятных условиях достигает 75%;
- процесс добычи нефти происходит непрерывно;
- баланс между получением пара в условиях забоя и потерями тепла, как результат – максимальные объемы извлечения;
- оптимальный суммарный паронефтяной коэффициент.

Заключение

Одним из основных ограничивающих факторов применения метода SAGD в Казахстане является, по нашему мнению, большая глубина залегания продуктивных пластов с высоковязкой нефтью, что

обуславливает проблему доставки теплоносителя к продуктивному пласту с заданной температурой пара. Температура теплоносителя является показателем эффективности применения метода SAGD, в связи с чем решение вопроса снижения потерь тепла в процессе доставки теплоносителя по колонне НКТ до продуктивного пласта является важной технической задачей, решение которой с минимальными затратами материальных ресурсов позволит повысить интерес добывающих компаний к применению данного метода SAGD.

Существующие способы снижения потерь тепла по колонне НКТ, такие как силикатно-эмалевое покрытие на внутреннюю поверхность внутренней трубы, применение многослойной экранной изоляции внутренней поверхности НКТ, применение 2-трубной колонны НКТ и нагрев внутренней колонны труб и т. д., не позволяют достичь существенного снижения потерь тепла по колонне труб и являются дорогостоящими способами, что ограничивает возможность их широкого применения.

Поиск новых технических решений, обладающих высокой степенью снижения потерь тепла при минимальной стоимости, является весьма актуальной задачей, которая позволит расширить область применения метода SAGD в Казахстане.

ЛИТЕРАТУРА

1. <https://vseonefti.ru/neft/tyazhelaya-neft.html>.
2. Хайн Н. Геология разведка, бурение и добыча нефти. – М.: ЗАО «Олимп-Бизнес», 2008. – 752 с.
3. Заурбеков К.С., Логвиненко А. Обзор и анализ научных статей по парогравитационному воздействию на пласты высоковязкой нефти. Труды Международных Сатпаевских чтений «Научное наследие Шахмардана Есенова», Алматы, КазНУ им. К.И. Сатпаева, 12–14 апреля 2017 г.
4. Butler R.M., Morkys I.J. A new process (VAPEX) for recovering heavy oils using hot water and hydrocarbon vapour // The Journal of Canadian Petroleum Technology. – 1991. – Vol. 30. – № 1. pp. 97–106.
5. Sadler K.W. An EUB Review of In Situ Oil Sands Bitumen Production // SPE paper 30240-MS presented at SPE International Heavy Oil Symposium, 19–21 June, Calgary, Alberta, Canada. – 1995.
6. Хисамов Р.С., Амерханов М.И., Ханипова Ю.В. Изменение свойств и состава высоковязких нефтей при реализации технологии парогравитационного воздействия в процессе разработки Ашальчинского месторождения. – М.: Нефтяное хозяйство, 2016.

7. Технология добычи «тяжелой» нефти. : Материалы Евразийского энергетического форума Conoco Phillips (5 сентября 2008 г.).
8. Пшеницын М., ОАО «Удмуртнефть». Метод парогравитационного дренажа (SAGD). XVIII Международная специализированная выставка газовой промышленности РосГазЭссо, г. Санкт-Петербург, 7–10 октября 2014 г.
9. Оптимизация разработки месторождения тяжелой нефти. – 2006. : www.slb.com/oilfield. Schlumberger.
10. Метод парогравитационного дренажа (SAGD) : <https://vseonefti.ru/upstream/sagd.html>.

REFERENCES

1. <https://vseonefti.ru/neft/tyazhelyaya-neft.html>.
2. Hajn N. (2008) Geologija razvedka, burenie i dobycha nefi. – M.: ZAO «Olimp-Biznes». – 752 p.
3. Zaurbekov K.S., Logvinenko A. Obzor i analiz nauchnyh statej po parogravitacionnomu vozdejstvu na plasty vysokovjazkoj nefi. Trudy Mezhdunarodnyh Satpaevskih chtenij «Nauchnoe nasledie Shakhmardana Esenova», Almaty, KazNITU im. K.I. Satpaeva, 12–14 aprelja 2017 g.
4. Butler R.M., Morkys I.J. A new process (VAPEX) for recovering heavy oils using hot water and hydrocarbon vapour // The Journal of Canadian Petroleum Technology. – 1991. – Vol. 30. – № 1. pp. 97–106.
5. Sadler K.W. An EUB Review of In Situ Oil Sands Bitumen Production // SPE paper 30240-MS presented at SPE International Heavy Oil Symposium, 19–21 June, Calgary, Alberta, Canada. – 1995.
6. Hisamov R.S., Amerhanov M.I., Hanipova Ju.V. (2016) Izmenenie svojstv i sostava vysokovjazkih nefej pri realizacii tehnologii parogravitacionnogo vozdejstviya v processe razrabotki Ashal'chinskogo mestorozhdenija. – M.: Neftjanoe hozjajstvo.
7. Tehnologija dobychi «tjazhelej» nefi. : Materialy Evrazijskogo jenergeticheskogo foruma Conoco Phillips (5 sentjabrja 2008 g.).
8. Pshenicyn M., ОАО «Udmurtneft'». Metod parogravitacionnogo drenazha (SAGD). XVIII Mezhdunarodnaja specializirovannaja vystavka gazovoj promyshlennosti RosGazJesspo, g. Sank-Peterburg, 7–10 oktjabrja 2014 g.
9. Optimizacija razrabotki mestorozhdenija tjazhelej nefi. – 2006. : www.slb.com/oilfield. Schlumberger.
10. Metod parogravitacionnogo drenazha (SAGD) : <https://vseonefti.ru/upstream/sagd.html>.

Information about authors

1. Zaurbekov Kadyrzhan Seitzhanovich

PhD student, Satpayev University, Satpayev st., 22, Almaty, Kazakhstan

ORCID ID: 0000-0001-7425-7448

E-mail: kadmen.95@mail.ru

2. Baimukhametov Murat Abishevich

Candidate of physical and mathematical sciences, lecturer, Satpayev University, Satpayev st., 22, Almaty, Kazakhstan

ORCID ID: 0000-0002-8122-1387

E-mail: b_murat55@mail.ru

3. Zhankimanova Galiya Nurzhanovna (Corresponding author)

PhD student, Satpayev University, Satpayev st., 22, Almaty, Kazakhstan

ORCID ID: 0000-0003-3048-3990

E-mail: galiya_28@mail.ru

4. Zaurbekov Seitzhan Aryspekovich

Candidate of technical sciences, professor, Satpayev University, Satpayev st., 22, Almaty, Kazakhstan

ORCID ID: 0000-0001-8025-0824

E-mail: s.zaurbek@mail.ru

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

UDC 004.021
IRSTI 20.51.23

DOI 10.55452/1998-6688-2021-18-4-20-25

MODELLING, RECOMMENDATION AND ANALYSIS OF DEMAND PLANNING IN FMCG

Bakytbek B.¹, Bektembayeva A.R.²

¹PepsiCo Kazakhstan, 050000, Almaty, Kazakhstan

²Beeline, 050000, Almaty, Kazakhstan

Abstract. Most of the fast-moving consumer goods companies (FMCG) have two main targets in order to become successful on the market. First, it is profit maximization and the second one is cost optimization or minimization. If the company can hold those two key performance indicator (KPIs) in balance, it has all the odds to be competitive and successful in the field of operation. Supply Chain (SC) team and in particular Demand planning (DP) plays a crucial role in achieving those targets mentioned above with help of recommendation modelling systems. Demand planning team are those who can translate business needs into meaningful and measurable numbers for Supply Chain keeping healthy inventory level and delivering the goods that needed with the best freshness and availability possible. Further, we will describe and analyze how to achieve better results vs. current solutions on specific company called PepsiCo via modelling and analyzing Demand Planning in FMCG sector overall.

Key words: prediction, analyze, recommendation system, machine learning, big data, supervised training, dataset, Demand Planning, FMCG, Supply Chain.

СЕКТОРДА ЖҰМЫС ЖАСАУ, ҰСЫНЫСТАР ЖӘНЕ ТАЛАПТЫ ТАЛДАУ

Бақытбек Б.¹, Бектембаева А.Р.²

¹PepsiCo Kazakhstan, 050000, Алматы, Қазақстан

²Beeline, 050000, Алматы, Қазақстан

Аңдатпа. Жылдам өсіп келе жатқан тұтынушылық тауарлар (Fast-moving consumer goods – FMCG) компанияларының көпшілігі нарықта сәттілікке жету үшін екі негізгі мақсат қояды. Біріншіден, бұл пайданы максимизациялау, екіншіден, шығындарды оңтайландыру немесе азайту. Егер компания осы екі негізгі көрсеткішті (key performance indicator – KPI) теңгере алса, оның бәсекеге қабілетті және өз ісінде табысты болуға барлық мүмкіндігі бар. Ұсыныстарды модельдеу жүйелері арқылы жоғарыда аталған мақсаттарға жетуде жеткізілім тізбегі (Supply Chain – SC) тобы және әсіресе Сұранысты жоспарлау шешуші рөл атқарады. Жабдықтау тізбегі – бұл тауарлық-материалдық құндылықтарды сақтау және қажетті тауарларды максималды сергектікпен және қол жетімділікпен жеткізе отырып, бизнес қажеттіліктерін жеткізілім тізбегі үшін маңызды және өлшенетін сандарға айналдыра алатындар. Бұдан әрі біз жалпы FMCG секторына сұранысты жоспарлауды модельдеу және талдау арқылы нақты PepsiCo компаниясы үшін қазіргі шешімдерге қарағанда жақсы нәтижелерге қалай жетуге болатындығын сипаттаймыз және талдаймыз.

Түйінді сөздер: болжау, талдау, ұсыныстар жүйесі, машиналық оқыту, үлкен мәліметтер, бақыланатын оқыту, мәліметтер базасы, сұранысты жоспарлау, FMCG, жабдықтау тізбегі.

МОДЕЛИРОВАНИЕ, РЕКОМЕНДАЦИИ И АНАЛИЗ СПРОСА ПЛАНИРОВАНИЯ В СЕКТОРЕ

Бақытбек Б.¹, Бектембаева А. Р.²

¹*PepsiCo Kazakhstan, 050000, Алматы, Казахстан*

²*Beeline, 050000, Алматы, Казахстан*

Аннотация. Большинство быстроразвивающихся компаний по производству потребительских товаров (*Fast-moving consumer goods – FMCG*) преследуют две основные цели, чтобы добиться успеха на рынке. Во-первых, это максимизация прибыли, а во-вторых, оптимизация или минимизация затрат. Если компания сможет сбалансировать эти два ключевых показателя эффективности (*key performance indicator – KPI*), у нее есть все шансы на то, чтобы быть конкурентоспособной и успешной в своей области деятельности. Команда *Supply Chain (SC)*, и в частности планирование спроса (*Demand Planning – DP*), играет решающую роль в достижении целей, упомянутых выше, с помощью систем моделирования рекомендаций. Команда по *Supply chain* – это те, кто может преобразовать потребности бизнеса в значимые и измеримые числа для *supply chain*, поддерживая здоровый уровень запасов и доставляя необходимые товары с максимальной свежестью и доступностью. Далее мы опишем и проанализируем, как добиться лучших результатов по сравнению с текущими решениями для конкретной компании *PepsiCo*, путем моделирования и анализа планирования спроса в секторе *FMCG* в целом.

Ключевые слова: прогнозирование, анализ, система рекомендаций, машинное обучение, большие данные, обучение с учителем, набор данных, планирование спроса, *FMCG*, цепочка поставок.

Introduction

Majority of international companies in *FMCG* sector have complexities related to Supply Chain operations starting from Demand Planning and ending with Customer orders fulfillment.

There are many chains in between like procurement of raw materials, factory planning, supply planning, logistics, warehousing, distribution and customer service, but in this paper, we will be focusing only on Demand Planning and in particular Kazakhstan market, which makes this research unique and supposedly should solve profit maximization and cost optimization KPI issues, basically, meaning save some cash and time.

- DP function within Supply Chain is the starting point for a business that has production and appropriate scale. DP team works with Forecast Accuracy (FA) and bias, in other words DP planner predicts which product will be sold in particular city, channel (traditional or modern trade) with lag time of up to 16 weeks with best possible forecast accuracy (FA). So, providing

high FA on Stock Keeping Unit (SKU) level with lag intervals two or four weeks lead to lower inventory levels, fresh products on shelves, product availability, less out of stocks of products and as a result, to higher cash flow, which makes the company agile and more competitive on the market.

- Lots of uncertainties should be taken into account in order to get high results. Such obstacles might be promotional activities, discounts, new product developments, equipment installations, ATL(Above The Line) and BTL(Below The Line) activities by Marketing team, competitor's activities, price increase, external factor (perhaps, COVID-19 or fasting periods) and many more...

- Modelling, recommendation and analysis is a big part of DP and to make predictions as accurate as possible, the company has to take the changing variables mentioned above and we will take into account only several of them, which are relevant to us and available on hand. As ethics suggest we cannot take insider's information to take advantage over the competitors. So, we will

be using in this research only historical data as well as the data available to us.

Healthy business supposed to have healthy inventory stocks in order to operate the business properly and have enough cash flow to pay the employees' salaries and dividends to shareholders and buy raw materials to keep business running. So, in this research we will try to answer how to predict the best possible FA and bias with the data on hand within scarcity of resources like manpower, time, efficiency & effectiveness resulting the highest possible productivity level.

- The dataset we need to analyze and observe mainly is historical data sales, which helps us to identify season spikes and the trend that will most probably will occur from period to period by categories.

- Legitimate external sources like Nielsen research reports, which can help us to get grasp of market share and analyze how the market is evolving, category growth and give an understanding where we are vs. our competitors and identify whether our actions in the past and current are well designed and executed by counterpart departments like Sales, Marketing, Trade Marketing, Finance and Supply Chain.

Answering and analyzing all the questions above with the help of new machine learning modelling in DP, we will be able to excel at predictions vs. current state resulting in higher profitability and cash flow optimization meaning that business unit can earn more profit, market share and other crucial performance indicators. Our model/recommendation system should help in sales prediction in right amount, in the right place and in a timely manner.

Methodology

Now the whole world faced pandemic virus called COVID-19, which dramatically changed the way people behaved before and after the virus entered our lives. One example with toilet papers that stocked out around the world during the first a couple of weeks since quarantines around the world were announced. There are researchers who proposed solution to manage demand uncertainty in Supply Chain Planning with manufacturing decisions modeled as "here-and-now", which are made before demand realization. Subsequently,

the logistics decisions are postponed in a 'wait-and-see' mode to optimize in the face of uncertainty. But with such approach we can face out of stock on shelves plus increased prices for the goods in high demand, which will directly affect final customers who buy those products. [1]

Another research paper that proposes a new paradigm for tactical Demand Chain Planning (DCP), called robust planning, based on risk assessment of the supply and demand chain. It outlines that a significant number of information systems have emerged, but most of the adopt a myopic view of planning, based on pure deterministic planning methods. It demonstrates that such an approach fails to cope with the considerable uncertainty of the planning information. The proposed robust planning paradigm is introduced and it promise to reduce the number of re-planning cycles, through a better characterization of the expected service level performance over a medium planning horizon. [3]

Third paper shows large benefits which are achieved by Supply Chain Management that are accredited to the reduction of inventories, especially to decrease of safety stocks. While safety stocks are mainly influenced by uncertainty, it is appealing that most effort should be spent on the reduction of uncertainty. Two sources of uncertainty are known in supply chains: process uncertainty (ex. unreliable production processes, fluctuating lead times etc.) and demand uncertainty (difference in planned or estimated demand and actual sales). The purpose of Demand Planning is to improve decisions affecting demand accuracy and the calculation of safety stocks to reach a predefined service level. All decisions in the whole supply chain should be based on already fixed (accepted) customer orders and planned forecasts, the latter ones are determined in the Demand Planning process. Therefore, the performance of each supply chain entity depends on the quality 2 of the demand plan. This also implies that these figures need to be the result of a collaborative effort. [4]

The last paper talks about mainstream inventory management approaches typically assume a given theoretical demand distribution and estimate the required parameters from

historical data. A time series based framework uses a forecast (and a measure of forecast error) to characterize the demand model. However, demand might depend on many other factors rather than just time and demand history. Inspired by a retail inventory management application where customer demand, among other factors, highly depends on sales prices, price changes, weather conditions, paper presents two data-driven frameworks to set safety stock levels when demand depends on several exogenous variables. The first approach uses regression models to forecast demand and illustrates how estimation errors in this framework can be utilized to set required safety stocks. The second approach uses Linear Programming under different objectives and service level constraints to optimize a (linear) target inventory function of the exogenous variables. The researchers show that considerable improvements of the overly simplifying method of moments are possible and that the ordinary least squares approach yields a better performance than the LP-method, especially when the data sample for estimation is small and the objective is to satisfy a non-stock out probability constraint. However, if some of the standard assumptions of ordinary least squares regression are violated, the LP approach provides more robust inventory levels. [2] So, I have checked different approaches, which are discussed above and will try to find unique solution with insights from the researchers above. All the papers say that lower inventory level is good for the company, but it should not be at the cost of out of stock and the hardest part is that there are a lot of uncertainties and variables that fluctuate a lot.

First, we suggest dividing planning into two parts: short-term demand planning (up to 16 weeks) and long-term demand planning (16 weeks and up to 18 months). Where short-term planning looks for shorter periods on weekly basis by cities, channels (Traditional Trade – TT and Modern Trade – MT) and on SKU level and long-term planning analyzes broader period of time up to 18 months on monthly basis by regions, channels and pricing groups (group of the same SKUs or so-called sub-categories). The main difference is that the closer forecast

appears the more focused analysis should be in place, since we have more data available to be analyzed, which directly affects inventory level and safety stocks.

Second, we propose to forecast sell out (sales from distributor to stores) and taking into account stock levels at the beginning of the month and respectively plan sell in volumes (sales from company to distributors). This approach results in win-win strategy and shows that we are caring about distributors as well as sales overall. This brings partnership to the next and loyalty toward us. In future, the best results might show sell out data (from stores to final consumers), but in real world of Kazakhstan it is hard to acquire such information. This approach is more suitable for developed countries, but we might come to the point when we will be able to analyze such data as well.

Third, data validity and history horizon. We decided that synchronization between distributor's ERP systems and our sales system should be on weekly basis and consolidated information for whole country will be as a baseline for DP. Three years should be more than enough to identify baseline for each SKU in portfolio (5 categories and around 350 SKUs).

Fourth, we mentioned above that there are a lot of uncertainties that should be taken into account like promotional activities and actions by competitors, price changes, weather conditions, any governmental restrictions, marketing advertisements, lottery and so on. But we should limit all the features that will be fed to modelling/recommendation system, otherwise it will consume a lot of manpower in collecting all those data and normalizing it on weekly basis for short-term planning. In addition, FMCG sector changes rapidly meaning that it might be a monkey work and increase FA slightly, when spending many resources.

Fifth, weekly meetings are deployed with Sales, Marketing, Trade Marketing and Supply Chain teams to get feedback in real time from the field of sales (stores, supermarkets and hypermarkets). Now, I explained the methodology how it supposed to work. Let's compare current state versus what will change with implementation of ML modelling/recommendation system in current processes.

Currently, there is a tool called Prolink that uses historical data for short-term planning and particularly excel spreadsheets, which uses statistical model Lewandowski, but is highly depended on DP planners that are feeding inputs manually from weekly short-term meetings and asymptotically produce FA. This approach is good, but human error-prone.

As a solution, we identified features that influence Demand forecast the most. Those are promo 3 activities, issues on factory, weather conditions that delay transportation, motivational programs for sales representatives and equipment installations in the stores. I gathered sell out historical data for the past three years, promo activities are partially in place, weather conditions can be acquired online, motivational programs and equipment installations are in process. Feeding the main features into ML modelling/recommendation system should give better FA results and lessen human interaction thus giving better financial results to company and allot more time for planners to analyze forecast thoroughly.

Expected Results

Now, we got to the point where we will share our pathway to find a better solution. We did not implement the ML modelling/recommendation system yet. We will share our expectations and let us put our ideas below:

- We have specific company called PepsiCo Kazakhstan operating in Kazakhstan in two channels Traditional and Modern/Organized Trade within all the cities in the country.
- In our armory, we have the following parameters: historical baseline data by SKUs, channels, cities; historical promo activities by pricing groups/sub-categories and with exact discounting percentage; pricing history; weather conditions; equipment installations and motivational program for sales teams (bonuses for achieving sales target for defined period).
- We have to differentiate around 350 SKUs by categories, sub-categories, brands and pricing groups. The differentiation is needed to plan short-term and long-term on different levels.
- Analyze the current data on hand and create a model that will take as an input all the parameters above and give an output and we

call it time-series Demand Planning model/recommendation system. We plan to implement different models using the following approaches Moving Average, ARIMAX, SARIMAX, LSTM, linear regression, ordinary least squares regression and perhaps during the research we will encounter a few other models that might come in handy. After comparison, it will be seen, which works the best.

- We split the dataset as train and test and play around to get the best possible prediction outcomes with better FA and bias.
- Also, dataset will be cleaned of outliers (one-time promo activities or sales) to receive less noise from our model.
- After testing whole categories and getting the best possible outcomes, we will be able to define optimal inventory level to cover sell-out based on lead-time and sell-in plans, which supposedly should unfreeze cash in stock and decrease inventory level with no decrease in service level for final customers.

We believe that our research work should bring benefits to company we are focusing on and help keeping its leading positions in the categories they are presented and give a sense of how to execute sales in the most optimal and efficient way. If it works out, our proposal can be applied to other companies on the market. Since all the companies try to achieve the same goals and earn more money.

Conclusion

Summing up all the said above, every company wants to shift from good to best. In order to do so, it is not enough to rely only on manpower, which is error-prone as we did for decades during preceding manufacturing revolutions, the forth-manufacturing revolution is here. It is an era of new technologies, technologies like machine and deep learning, AI and other technologies can ease our daily, and work lives substantially with less errors and better results. Keeping that in mind, business owners/managers from small to big can gain a lot from those technologies and earn more cash with less efforts. We hope that our research will solve the current issues in the company and it can be applied to other companies on the market as well.

REFERENCES

1. Anshuman Gupta and Costas D. Maranas. "Managing demand uncertainty in supply chain planning". In: (2003). ISSN: 00981354. – pp. 5.
2. "Safety stock planning under causal demand forecasting". In: International Journal of Production Economics. 2012. – pp. 2–3.
3. Hendrik Van Landeghem and Hendrik Vanmaele. "Robust planning: A new paradigm for demand chain planning". In: Journal of Operations Management (2002). ISSN: 02726963. – pp. 1–2.
4. Michael Wagner. "Demand planning". In: Supply Chain Management and Advanced Planning (Third Edition): Concepts, Models, Software and Case Studies. 2005. ISBN: 3540220658. – pp. 133–137.
5. Sunil Chopra and Peter Meindl. "Strategy, Planning, and Operation". In: Supply Chain Management (Fifth Edition). 2013. ISBN: 0132743957. pp. 1–3.
6. Sunil Chopra and Peter Meindl. "Strategy, Planning, and Operation". In: Supply Chain Management (Fifth Edition). 2013. – ISBN: 0132743957. – P. 178.
7. "Supply Chain 4.0 – the next-generation digital supply chain". Online: www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/supply-chain-40--the-next-generation-digital-supply-chain.
8. "Moving Average Smoothing for Data Preparation and Time Series Forecasting in Python." Online: www.machinelearningmastery.com/moving-average-smoothing-for-time-series-forecasting-python.
9. "A Brief Introduction to ARIMA and SARIMAX Modeling in Python." Online: www.medium.com/swlh/a-brief-introduction-to-arima-and-sarima-modeling-in-python-87a58d375def/
10. "A Gentle Introduction to Long Short-Term Memory Networks by the Experts." Online: www.machinelearningmastery.com/gentle-introduction-long-short-term-memory-networks-experts.

Information about authors:

1. Bakytbek Bekzat

Master of Technical Sciences, Demand Planning manager,
PepsiCo Kazakhstan, Abay avenue, 109b, Almaty, Kazakhstan

ORCID ID: 0000-0002-3712-5726

E-mail: bbakytbek@gmail.com

2. Bektembayeva Aidana Rizaevna (Corresponding author)

Master of Technical Sciences, Senior expert E-Commerce,
Beeline, Timiryazev st. 28b, Almaty, Kazakhstan

ORCID ID: 0000-0002-0146-6633

E-mail: Aidana.bektem@gmail.com

UDC 510.67

IRSTI 27.03.66

DOI 10.55452/1998-6688-2021-18-4-26-31

ON 1-INDISCERNIBILITY OF E-COMBINATIONS OF ORDERED THEORIES

Sudoplatov S.V.

Novosibirsk State Technical University,
20, K.Marx avenue, Novosibirsk, 630073, Russia

Abstract. *In this paper, we investigate properties that are preserved or acquired when combining an arbitrary number of theories or structures. Recently, an interest has been shown in the study of P-combinations (when each structure is distinguished by a separate unary predicate) and E-combinations (when each structure is distinguished by a separate class of equivalence with respect to E). Here we studied the properties of E-combinations of linearly ordered theories. The 1-indiscernibility and density of a weakly o-minimal E-combination of countably many copies of an almost omega-categorical weakly o-minimal theory in a language that does not contain distinguished constants are established.*

Keywords: *linearly ordered structure, weak o-minimality, E-combination, omega-categoricity, dense ordering.*

РЕТТЕЛГЕН ТЕОРИЯЛАРДЫҢ Е-КОМБИНАЦИЯЛАРЫНЫҢ 1-АЖЫРАТЫЛМАУЫ ТУРАЛЫ

Судоплатов С.В.

Новосібір мемлекеттік техникалық университеті,
630073, К. Маркс пр., 20, Новосибирск, Ресей

Аңдатпа. Бұл мақалада біз теориялардың немесе құрылымдардың еркін санын біріктіру кезінде сақталған немесе алынған қасиеттерді зерттейміз. Соңғы уақытта P-комбинацияларын (әрбір құрылым жеке унарлы предикатпен ерекшеленетін кезде) және E-комбинацияларын (әр құрылым E-ге қатысты эквиваленттіктің жеке класымен ерекшеленетін кезде) зерттеуге қызығушылық танытуда. Мұнда сызықтық реттелген теориялардың E-комбинацияларының қасиеттерін зерттедік. 1-айырықша константалары жоқ тілдегі дерлік омега-категориялық әлсіз о-минималды теорияның көшірмелерінің есептік санының әлсіз о-минималды E-комбинациясының 1-айырылмауы және тығыздығы белгіленді.

Түйінді сөздер: *сызықтық реттелген құрылым, әлсіз о-минималдық, E-комбинациясы, омега-категориялық, тығыз рет.*

ОБ 1-НЕРАЗЛИЧИМОСТИ Е-КОМБИНАЦИЙ УПОРЯДОЧЕННЫХ ТЕОРИЙ

Судоплатов С.В.

Новосибирский государственный технический университет,
630073, пр. К. Маркса, 20, Новосибирск, Россия

Аннотация. В настоящей работе мы исследуем свойства, которые сохраняются или приобретаются при комбинировании произвольного числа теорий или структур. В последнее время интерес был проявлен к изучению P -комбинаций (когда каждая структура выделяется отдельным унарным предикатом) и E -комбинаций (когда каждая структура выделяется отдельным классом эквивалентности по отношению E). Здесь мы изучали свойства E -комбинаций линейно упорядоченных теорий. Установлены 1-неразличимость и плотность слабо o -минимальной E -комбинации счетного числа копий почти ω -категоричной слабо o -минимальной теории в языке, не содержащем выделенных констант.

Ключевые слова: линейно упорядоченная структура, слабая o -минимальность, E -комбинация, ω -категоричность, плотный порядок.

Introduction

Earlier, in [1]–[12], various combinations of theories were considered. In this paper, we continue the study of combinations, namely, we will consider E -combinations of almost ω -categorical weakly o -minimal theories.

Let us introduce the necessary definitions. The notion of *weak o -minimality* was originally investigated by D. Macpherson, D. Marker, and C. Steinhorn in [13]. A subset A of a linearly ordered structure M is said to be *convex* if for any $a, b \in A$, and $c \in M$, whenever $a < c < b$, we have $c \in A$. A *weakly o -minimal structure* is a linearly ordered structure $M = \langle M, <, \dots \rangle$ such that any definable (with parameters) subset of the structure M is the union of finitely many convex sets in M .

Definition 1. [14, 15] Let T be a complete theory, $p_1(x_1), \dots, p_n(x_n) \in S_1(\emptyset)$. An n -type $q(x_1, \dots, x_n) \in S_n(\emptyset)$ is said to be a $(p_1, \dots, p_n)$ -type if $q(x_1, \dots, x_n) \supseteq \bigcup_{i=1}^n p_i(x_i)$. The set of all $(p_1, \dots, p_n)$ -types of the theory T is denoted by $S_{p_1, \dots, p_n}(T)$. A countable theory T is said to be *almost ω -categorical* if for any types $p_1(x_1), \dots, p_n(x_n) \in S_1(\emptyset)$ there exist only finitely many types $q(x_1, \dots, x_n) \in S_{p_1, \dots, p_n}(T)$.

Almost ω -categoricity is closely connected with the notion of Ehrenfeuchtness of a theory. Thus, in the work [14] it was proved that if T is

an almost ω -categorical theory with $I(T, \omega) = 3$, then a dense linear ordering is interpreted in the theory T .

Throughout this article, we will consider linearly ordered structures, i.e. structures of a language containing a binary relation symbol $<$ that satisfies the axioms of a linear order.

Let M_i be a linearly ordered structure of the signature $\{<, \Sigma_i\}$ for each $i < \omega$, where Σ_i does not contain distinguished constants. We will denote by $dcl_{M_i}^{<}(\emptyset)$ the sets of elements of a structure M_i being $\emptyset$ -definable by the order relation $<_{M_i}$.

We will say that $M^+ := \langle \bigcup_{i \in \omega} M_i; <, \Sigma, E^2, c_k^i \rangle_{k < \lambda_i, i \in \omega}$ is a *linearly ordered disjoint E -combination* (or just *E -combination*) of the structures M_i , if $\Sigma := \bigcup_{i \in \omega} \Sigma_i$, $\{c_k^i | k < \lambda_i\} \subseteq dcl_{M_i}^{<}(\emptyset)$ for some ordinal λ_i ; either $M_l < M_m$ or $M_m < M_l$ for any $l, m \in \omega$, and E is an equivalence relation partitioning M^+ into convex classes so that for any $a \in M^+$ we have $E(a, M^+) = M_i$ for some $i < \omega$, $E \notin \Sigma$.

Thus, we include in the signature of an arbitrary E -combination of structures M_i , $i \in \omega$, all elements lying in $dcl_{M_i}^{<}(\emptyset)$ for every $i \in \omega$, i.e. if M_1 and M_2 are isomorphic copies of the same structure M , that has λ elements lying

in $dcl_M^{\leq}(\emptyset)$ for some cardinal λ , then in the signature of an E -combination of the structures M_1 and M_2 exactly 2λ elements will be included.

Here we are interested in the questions of preserving certain properties of the original structures in their E -combination. For example, if all M_i are almost ω -categorical, then under what conditions will an elementary theory of an arbitrary E -combination of these structures be almost ω -categorical as well? Or when will it have the maximal countable spectrum?

Results

Fact 1. Let T_i be an almost ω -categorical weakly o-minimal theory for every $i \in \omega$, $M_i \models T_i$, M^+ be a linearly ordered disjoint E -combination of finitely many such models. Then $Th(M^+)$ is an almost ω -categorical weakly o-minimal theory.

We say that a tuple $\bar{a} := \langle a_1, \dots, a_n \rangle \in M^n$ forms a *finite linear ordering* or $F(n)$ -ordering if $a_1 < a_2 < \dots < a_n$, a_1 does not have an immediate predecessor in M , a_n does not have an immediate successor in M , and a_{i+1} is an immediate successor of a_i for every $1 \leq i \leq n-1$.

Example 1. Let $M := \langle \mathbb{Q}, <, P_i^1 \rangle_{i \in \omega}$ be a linearly ordered structure, $\mathbb{Q}$ be the set of rational numbers, $P_i(M) = \{b \in \mathbb{Q} \mid b < \sqrt{2} + i\}$ for every $i \in \omega$. Then, obviously, $P_i(M)$ is convex for every $i \in \omega$ and

$$P_0(M) \subset P_1(M) \subset P_2(M) \subset \dots \subset P_n(M) \subset \dots$$

Observe that since the structure $M_0 := \langle \mathbb{Q}, < \rangle$ is o-minimal then by Theorem 63 [16] $Th(M)$ is weakly o-minimal. Consider the following set of formulas:

$$\{\forall y [P_i(y) \rightarrow y < x] \mid i \in \omega\}$$

It is locally consistent and determines a complete type over $\emptyset$. Denote it by $p(x)$. This type is non-isolated; the set of realizations of p can be empty, have the ordering type $[0,1) \cap \mathbb{Q}$ or $(0,1) \cap \mathbb{Q}$. Thus, $Th(M)$ has exactly three countable pairwise non-isomorphic models, i.e. is Ehrenfeucht. Consequently, by Theorem 3.7 [17] $Th(M)$ is almost ω -categorical.

Let M^+ be a linearly ordered disjoint E -combination of countably many copies of the model M . Obviously, M^+ is not weakly o-minimal, since $P_0(M^+)$ is an union of infinitely many convex sets.

We assert that independently from that how E -classes are ordered in M^+ , the theory $Th(M^+)$ has 2^ω countable models.

Case 1. E -classes are densely ordered without endpoints.

Let

$$p^+(x) := \{\forall y [P_i(y) \rightarrow y < x \wedge E(y, x)] \mid i \in \omega\}$$

This set of formulas is consistent and determines a complete type over $\emptyset$ in $Th(M^+)$. The type p^+ can be omitted in every concrete class of equivalence, i.e. the set of realizations of p can be empty, can have the ordering type $[0,1) \cap \mathbb{Q}$ or $(0,1) \cap \mathbb{Q}$. Let's select an arbitrary ω equivalence classes with the least left class: $E_0, E_1, E_2, \dots$, i.e. there exist $a_0, a_1, a_2, \dots$ such that

$$E_0 = E(a_0, M^+), E_1 = E(a_1, M^+), E_2 = E(a_2, M^+), \dots \\ \text{and } E_0 < E_1 < E_2 < \dots$$

We will consider only countable models of the theory $Th(M^+)$, in which $p^+(E_i) \neq \emptyset$ for any $i \in \omega$, and in the remaining equivalence classes the set of realizations of type p^+ is empty. We define the following encoding: if one of these classes is implemented by the set of realizations with the smallest element, then we encode it by 1, but if it is implemented by the set of realizations without the smallest element, then we encode it by 2. Since the set of all possible countable sequences from 1 and 2 is of cardinality continuum, we conclude that $Th(M^+)$ has 2^ω countable models.

We also assert that in this case $Th(M^+)$ is almost ω -categorical.

Case 2. E -classes are ordered by the type ω . Consider the following formulas:

$$\phi_1(x) := \forall y [\neg E(x, y) \rightarrow x < y], \\ \phi_n(x) := \forall y [y < x \wedge \neg E(x, y) \rightarrow \bigvee_{i=1}^{n-1} \phi_i(y)], n \geq 2.$$

Obviously, $\phi_1(x)$ defines the leftmost equivalence class, $\phi_2(x)$ defines the second class, $\phi_n(x)$ defines the n -th equivalence class for each $n < \omega$.

Consider the following set of formulas:

$$p_0(x) := \{\forall y[\phi_n(y) \rightarrow y < x] \mid n \in \omega\}.$$

It is locally consistent. Consequently, there exists $M_1^+ \succ M^+$, in which $p_0(x)$ is realized by countably many E -classes ordered by the type $\omega + \omega^*$.

Consider the following formulas:

$$s_{1,E}(x, y) := x < y \wedge \neg E(x, y) \wedge$$

$$\wedge \forall z(x \leq z \leq y \rightarrow E(x, z) \vee E(z, y)),$$

$$s_{n,E}(x, y) := x < y \wedge \neg E(x, y) \wedge$$

$$\exists t_1 \dots \exists t_{n-1}[\neg E(x, t_1) \wedge \bigwedge_{i=1}^{n-2} \neg E(t_i, t_{i+1}) \wedge \neg E(t_{n-1}, y)]$$

$$\wedge x < t_1 < \dots < t_{n-1} < y \wedge \forall t(x \leq t \leq y \rightarrow$$

$$(E(x, t) \vee \bigvee_{i=1}^{n-1} E(t, t_i) \vee E(t, y))), n \geq 2.$$

Let $p(x) := p_0(x) \cup \{P_0(x)\}$. This set of formulas determines a complete type over $\emptyset$. Then considering for each natural $k \geq 1$ the following set of formulas:

$$p(x) \cup p(y) \cup \{s_{k,E}(x, y)\},$$

we obtain that the number of (p_1, p_2) -types is infinite, where $p_i(x) := p(x)$, $i = 1, 2$, and consequently $Th(M^+)$ is not almost ω -categorical.

Let $\mathbb{Z}E$ denote the set of E -classes ordered by the type $\omega^* + \omega$. Then we denote by $F(k)^{\mathbb{Z}E}$ ($\omega^{\mathbb{Z}E}$ and $\mathbb{Q}^{\mathbb{Z}E}$) the set of $\mathbb{Z}E$ -copies ordered by the type $F(k)$ (ω and $\mathbb{Q}$ respectively). Then we assert that $p_0(x)$ can be realized by the following set:

$$F_1(k_1)^{\mathbb{Z}E} + \mathbb{Q}^{\mathbb{Z}E} + F_2(k_2)^{\mathbb{Z}E} + \mathbb{Q}^{\mathbb{Z}E} + \dots + F_n(k_n)^{\mathbb{Z}E} + \mathbb{Q}^{\mathbb{Z}E}$$

for any $0 \leq n, k_i \leq \omega$, where for every $2 \leq i \leq n-1$ if $k_i \neq 0$ then $k_i \geq 2$; and if $k_i = \omega$ then $F_i(k_i)^{\mathbb{Z}E} \equiv \omega^{\mathbb{Z}E}$, whence we obtain that $Th(M^+)$ has 2^ω countable models.

Theorem 1. Let $\mathbf{T}$ be an almost ω -categorical weakly o-minimal theory of a language non-containing distinguished constants, $\mathbf{M} \models \mathbf{T}$, $\mathbf{M}^+$ be a linearly ordered disjoint E -combination of countably many copies of the structure $\mathbf{M}$. Suppose that $Th(\mathbf{M}^+)$ is weakly o-minimal. Then the following holds:

(1) $\mathbf{M}^+/E$ is partitioned into finitely many convex sets on each of which either all the elements have both an immediate predecessor and an immediate successor or all the elements have neither an immediate predecessor nor an immediate successor.

(2) $\mathbf{M}$ is dense.

(3) $\mathbf{M}$ is 1-indiscernible.

Proof of theorem 1. Consider the following formula:

$$\theta(x) := \exists t \exists y[t < x < y \wedge \neg E(t, x) \wedge \neg E(x, y) \wedge$$

$$\forall u \forall z(t < u < x < z < y \rightarrow$$

$$(E(t, u) \vee E(u, x)) \wedge (E(x, z) \vee E(z, y))].$$

Since $Th(\mathbf{M}^+)$ is weakly o-minimal, the set $\theta(\mathbf{M}^+)$ is an union of finitely many convex sets, and therefore (1) holds.

Prove now that $\mathbf{M}$ is dense. If $\mathbf{M}$ is not dense then there exist elements in $\mathbf{M}$ having an immediate predecessor or an immediate successor. By both almost ω -categoricity and weak o-minimality of the theory $\mathbf{T}$ there exist only finitely many elements in $\mathbf{M}$ having an immediate predecessor or an immediate successor. Consider the following formula:

$$\phi(x) := \exists y[x < y \wedge \forall z(x < z \rightarrow y \leq z)].$$

Obviously, $\phi(\mathbf{M}^+)$ is a union of infinitely many $\neg\phi(\mathbf{M}^+)$ -separable convex sets, whence $\mathbf{M}^+$ is not weakly o-minimal that contradicts the hypotheses of the theorem.

We prove now that M is 1-indiscernible. If this is not true then there exist $a, b \in M$ such that $a \neq b$ and $tp(a/\emptyset) \neq tp(b/\emptyset)$. Consequently, there exists an L -formula $\psi(x)$ such that

$$M \models \psi(a) \wedge \neg\psi(b),$$

i.e. $\psi(M) \neq M$. By weak o-minimality we can assume that $\psi(M)$ is convex. But then $\psi(M^+)$ is an union of infinitely many $\neg\psi(M^+)$ -separable convex sets, that contradicts the weak o-minimality of M^+ .

Corollary 1. Let T_i be an almost ω -categorical weakly o-minimal theory of a language non-containing distinguished constants for each $i \in \omega$, $M_i \models T_i$, M^+ be a linearly ordered disjoint E-combination of the structures M_i . Suppose that $Th(M^+)$ is weakly o-minimal. Then the following holds:

(1) M^+/E is partitioned into finitely many convex sets on each of which either all the elements have both an immediate predecessor and an immediate successor or all the elements have neither an immediate predecessor nor an immediate successor.

(2) M_i is dense for almost all $i \in \omega$.

(3) M_i is 1-indiscernible for almost all $i \in \omega$.

Conclusion

Examples of E-combinations of countably many almost omega-categorical weakly o-minimal theories were constructed, in which both weak o-minimality and almost omega-categoricity are not preserved. It also was established that the countable spectrum might change. At the same time, it has been proved that when considering an E-combination of countably many copies of an almost omega-categorical weakly o-minimal theory in a language without distinguished constants, if the resulting combination is weakly o-minimal then the initial structure should be dense and 1-indiscernible.

Acknowledgments. The research has been supported by Program of fundamental researches of Siberian Branch of Russian Academy of sciences No. I.1.1, project No. № 0314-2019-0002, and by Science Committee of Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan (Grant No. AP08855544).

REFERENCES

1. Sudoplatov S.V. Combinations of structures // The Bulletin of Irkutsk State University. Series "Mathematics". – 2018. – Vol. 24. – pp. 82–101.
2. Sudoplatov S.V. Closures and generating sets related to combinations of structures // The Bulletin of Irkutsk State University. Series "Mathematics". – 2016. – Vol. 16. – pp. 131–144.
3. Sudoplatov S.V. Families of language uniform theories and their generating sets // The Bulletin of Irkutsk State University. Series "Mathematics". – 2016. – Vol. 17. – pp. 62–76.
4. Sudoplatov S.V. On semilattices and lattices for families of theories // Siberian Electronic Mathematical Reports. – 2017. – Vol. 14. – pp. 980–985.
5. Sudoplatov S.V. Combinations related to classes of finite and countably categorical structures and their theories // Siberian Electronic Mathematical Reports. – 2017. – Vol. 14. – pp. 135–150.
6. Sudoplatov S.V. Relative e -spectra, relative closures, and semilattices for families of theories // Siberian Electronic Mathematical Reports. – 2017. – Vol. 14. – pp. 296–307.
7. Pavlyuk In.I., Sudoplatov S.V. Families of theories of Abelian groups and their closures // Bulletin of Karaganda University. Mathematics. – 2018. – Vol. 92, No. 4. – pp. 72–78.
8. Kulpeshov B.Sh., Sudoplatov S.V., On P -combinations of ordered theories // Traditional International April Mathematical Conference, (Institute of Mathematics and Mathematical Modeling, Almaty, 5-8 April 2019), pp. 30–31.
9. Kulpeshov B.Sh., Sudoplatov S.V., On Ehrenfeuchtness of a P -combination of ordered theories // Materials of the International Conference "Algebra and Mathematical Logic: theory and applications" (Kazan, Kazan Federal University, 24-28 June 2019), pp. 131–133.
10. Kulpeshov B.Sh., Sudoplatov S.V., P -combinations of ordered structures // International

Conference “Mal’tsev Meeting” (Novosibirsk, Sobolev Institute of Mathematics, 18-24 August 2019), P. 190.

11. Kulpeshov B.Sh., Sudoplatov S.V. P -combinations of ordered theories // Lobachevskii Journal of Mathematics. – 2020. – Vol. 41, No. 2. – pp. 227–237.

12. Kulpeshov B.Sh., Sudoplatov S.V. P^* -combinations of almost ω -categorical weakly o-minimal theories // Lobachevskii Journal of Mathematics. – 2021. – Vol. 42, No. 4. – pp. 743–750.

13. Macpherson H. D., Marker D., and Steinhorn C. Weakly o-minimal structures and real closed fields // Transactions of The American Mathematical Society. – 2000. – Vol. 352, No. 12. – pp. 5435–5483.

14. Ikeda K., Pillay A., Tsuboi A. On theories having three countable models, Mathematical Logic Quarterly. – 1998. – Vol. 44, No. 2. – pp. 161–166.

15. Sudoplatov S.V. Classification of countable models of complete theories. – Part 1. – Novosibirsk: Novosibirsk State Technical University Publishing House. – 2018. – ISBN 978-5-7782-3527-4. – P. 326.

16. Baizhanov B.S. Expansion of a model of a weakly o-minimal theory by a family of unary predicates // The Journal of Symbolic Logic. – 2001. – Vol. 66. – pp. 1382–1414.

17. Kulpeshov B.Sh., Sudoplatov S.V. Linearly ordered theories which are nearly countably categorical // Mathematical Notes. – 2017. – Vol. 101, No. 3. – pp. 475–483.

Information on the author:

Sudoplatov Sergey Vladimirovich

Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Leading Researcher, Sobolev Institute of Mathematics;
Head of Algebra and Mathematical Logic Department, Novosibirsk State Technical University, K.
Marx ave., 20, Novosibirsk, Russia

ORCID ID: 0000-0002-3268-9389

E-mail: sudoplat@math.nsc.ru

ҚАЗАҚСТАН-БРИТАН ТЕХНИКАЛЫҚ УНИВЕРСИТЕТІНІҢ
ХАБАРШЫСЫ

HERALD
OF THE KAZAKH-BRITISH TECHNICAL UNIVERSITY

ВЕСТНИК
КАЗАХСТАНСКО-БРИТАНСКОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Ответственный за выпуск

Есбергенов Досым Бектенович

Редакторы

Мазибаева Жанар Оралхановна
Скуратова Ирина Михайловна

Компьютерный дизайн и верстка

Жадыранова Гульнур Даутбековна

Подписано в печать 15.12.2021 г.
Тираж 300 экз. Формат 60x84 $\frac{1}{16}$.
Бумага тип. Уч.-изд.л. 2,0 Заказ №170

Редакция журнала «Вестник КБТУ» не несет ответственность за содержание публикуемых статей. Содержания статей целиком принадлежат авторам, и размещаются в журнале исключительно под их ответственность.