

УДК 330.47

## ПОСТРОЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЕКТНЫХ РИСКОВ ПРИ РАЗРАБОТКЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НЕФТИ И ГАЗА

Н.Д. Баркалова, В.П. Комагоров\*

ОАО «ТомскНИПИнефть ВНК», г. Томск

E-mail: BarkalovaND@nipineft.tomsk.ru

\*Томский политехнический университет

*Произведено построение базовой динамической модели рисков проекта разработки нефтегазового месторождения «Сахалин-2» и адаптации базовой модели применительно к инвестиционному проекту освоения одного из нефтегазовых месторождений Томской области с учетом повторяющихся стадий жизненного цикла месторождения.*

### Метод построения базовой динамической модели проектных рисков

Инвестиционный проект охватывает все этапы (стадии) жизненного цикла нефтегазового месторождения. Его успешная реализация во многом определяется механизмом финансирования каждой стадии с учетом существующих на данный момент рисков. Некоторые аспекты такого механизма изложены в [1]. В этой и других работах [2, 3] значительное внимание уделяется вопросам управления проектными рисками с целью оптимизации сроков и стоимости реализации инвестиционного проекта. Вместе с тем, изложенные в [1–3] подходы к управлению проектными рисками не учитывают особенности разработки конкретного нефтегазового месторождения, к числу которых относятся климатические условия, сложности геологического строения, методы и варианты разработки, состояние добычи, степень износа оборудования, систем сбора и транспортировки нефти и газа, а поэтому носят общий характер и представляют собой совокупность организационных мероприятий, таких как создание резервных фондов, диверсификация и страхование рисков и т.д. Кроме того, отсутствие в этих подходах соответствующего математического аппарата в значительной степени снижает возможности по их эффективному применению.

Следует отметить, что ряд работ [4–6] содержит описание способов количественной оценки рисков, которые могут возникать при реализации инвестиционных проектов. Так, в [6] приведена методика анализа рисков и степеней их значимости по годам жизненного цикла проекта «Сахалин-2». В ее основе лежит метод экспертных оценок проектных рисков. При этом отмечается, что для других месторождений данная методика требует корректировки, так как каждое месторождение имеет свой собственный жизненный цикл, определяемый его геолого-технологическими характеристиками. Эти обстоятельства явились предпосылкой к разработке метода построения и анализа динамической модели проектных рисков месторождений с различным жизненным циклом. Применение этой модели для управления рисками позволит существенно повысить экономическую эффективность их разработки и эксплуатации.

В качестве основы для построения динамической модели проектных рисков принята схема финансирования инвестиционного проекта «Сахалин-2», прошедшая международную экспертизу и рекомендуемая в качестве типовой [6].

Процесс построения динамической модели проектных рисков начинается с анализа схемы финансирования инвестиционного проекта и разбиения ее на отдельные этапы. Эти этапы соответствуют стадиям жизненного цикла месторождения. Согласно [7, 8] жизненный цикл любого месторождения представляется совокупностью 6 стадий: геологоразведочные работы, бурение и обустройство, стабильная и максимальная добыча, резкое падение добычи, стабилизация падения добычи, обводнение и ликвидация (консервация) месторождения. При этом учитываются только денежные потоки «Валовая выручка», «Капитальные вложения», «Текущие затраты» и «Дисконтированный доход» и не акцентируется внимание на длительности стадий, что обеспечивает возможность применения разработанного метода для различных месторождений независимо от длительности сроков их освоения. Ниже приводится краткая характеристика основных стадий жизненного цикла месторождения.

**Стадия 1. Геологоразведочные работы (ГРР).** Проводятся с целью подготовки месторождения к разработке с предварительной геолого-экономической оценкой запасов [7]. Включает региональный, поисково-оценочный и разведочный этапы, из которых при составлении перечня технико-экономических показателей значимости проектных рисков представляется целесообразным учитывать только 2-ой и 3-ий этапы в связи с тем, что при выполнении ГРР основные затраты связаны с поисковым и разведочным бурением.

**Стадия 2. Бурение и обустройство.** Если предварительная геолого-экономическая оценка свидетельствует о рентабельности разработки открытого месторождения, то реализуется проект пробной эксплуатации. С этого момента осуществляется быстрый рост капитальных вложений и появляются текущие затраты на эксплуатацию пробуренных скважин. Объем добываемой нефти и валовая выручка от ее продажи столь мала, что не покрывает

всех затрат, связанных с реализацией проекта пробной эксплуатации.

Уточненные в процессе пробной эксплуатации геолого-геофизические характеристики месторождения являются основой для выполнения проектов разработки и обустройства месторождения в целом и их последующей реализации. Происходит резкий рост капитальных вложений, которые в некоторый момент достигают своего максимума. Одновременно растут объем добычи и текущие затраты. Строятся системы нефтесбора, подготовки нефти, поддержания пластового давления. С завершением строительства основных нефтепромысловых объектов объем капитальных вложений быстро сокращается до некоторого стабильного уровня. При этом темпы роста объема добычи и, следовательно, валовой выручки, значительно превышают интенсивность роста текущих затрат.

**Стадия 3. Стабильная и максимальная добыча.** Дальнейший рост уровня добычи, который достигает своего максимума, обеспечивается за счет повышения эффективности работы введенных в эк-

сплуатацию технологических систем. При этом наблюдается рост текущих затрат до максимального значения. Уровень капитальных вложений остается стабильно невысоким, так как строительство основных технологических объектов к этому моменту завершилось. Чистый доход снижается незначительно, либо остается на прежнем уровне. Период максимальной добычи с постепенным падением уровня длится от 3-х до 7 лет в зависимости от геологического строения залежи и интенсивности ее разработки. В конце стадии происходит снижение текущих затрат за счет повышения эффективности управления технологическими процессами. Одновременно бурятся дополнительные скважины, что позволяет замедлить падение добычи, но приводит к росту капитальных вложений. При этом происходит значительное снижение чистого дисконтированного дохода.

**Стадия 4. Резкое падение добычи.** Это явление наступает в связи с истощением извлекаемых запасов. Резко увеличивается процент воды в добываемой жидкости. Вследствие низкого дебита и высо-

**Таблица 1.** Вероятность проявления проектных рисков и степень их значимости для инвестора по годам и стадиям жизненного цикла месторождения

Стадии жизненного цикла месторождения	Годы	Вероятность проявления рисков							
		Геологические	Инжиниринговые	Строительные	Финансовые	Маркетинговые	Управленческие	Юридические	Экологические
ГРП	1	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00
	2	0,57	0,00	0,00	0,18	0,00	0,86	0,86	0,01
Бурение и обустройство	1	0,37	0,05	0,00	0,31	0,00	0,70	0,70	0,05
	2	0,24	0,13	0,03	0,32	0,00	0,57	0,57	0,14
	3	0,16	0,27	0,23	0,32	0,07	0,50	0,50	0,31
	4	0,10	0,87	0,49	0,37	0,11	0,57	0,57	0,55
	5	0,07	0,98	0,82	0,58	0,18	0,71	0,71	0,69
	6	0,06	1,00	1,00	0,86	0,29	0,54	0,59	0,67
	7	0,05	1,00	1,00	0,92	0,46	0,39	0,36	0,55
	8	0,04	1,00	0,87	0,96	0,96	0,27	0,21	0,62
Стабильная и максимальная добыча	1	0,04	1,00	0,72	0,98	1,00	0,20	0,14	0,79
	2	0,05	1,00	0,67	0,99	0,96	0,18	0,09	0,90
	3	0,06	0,93	0,64	1,00	0,86	0,17	0,07	0,98
	4	0,06	0,75	0,62	1,00	0,79	0,16	0,05	1,00
	5	0,08	0,65	0,62	0,92	0,77	0,15	0,04	0,98
	6	0,13	0,60	0,62	0,73	0,75	0,14	0,03	0,88
	7	0,17	0,58	0,60	0,63	0,70	0,13	0,03	0,83
Резкое падение добычи	1	0,21	0,57	0,49	0,58	0,68	0,13	0,03	0,81
	2	0,24	0,56	0,46	0,57	0,55	0,12	0,03	0,79
	3	0,29	0,56	0,45	0,43	0,54	0,11	0,03	0,69
	4	0,33	0,55	0,44	0,34	0,52	0,10	0,02	0,62
Стабилизация падения добычи	1	0,38	0,51	0,31	0,24	0,51	0,09	0,02	0,61
	2	0,43	0,40	0,21	0,21	0,50	0,08	0,02	0,60
	3	0,46	0,35	0,15	0,18	0,48	0,07	0,02	0,57
	4	0,48	0,31	0,13	0,18	0,46	0,06	0,02	0,57
	5	0,47	0,31	0,12	0,17	0,45	0,05	0,01	0,57
	6	0,46	0,29	0,12	0,17	0,32	0,04	0,01	0,55
	7	0,43	0,27	0,12	0,17	0,11	0,04	0,01	0,43
Обводнение и консервация	1	0,37	0,27	0,10	0,15	0,18	0,03	0,01	0,29
	2	0,28	0,25	0,10	0,15	0,20	0,02	0,01	0,17
	3	0,19	0,18	0,08	0,12	0,18	0,01	0,01	0,12
	4	0,06	0,11	0,05	0,09	0,04	0,00	0,00	0,05
	5	0,00	0,02	0,03	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00
Степень значимости для инвестора		4	8	13	5	10	5	3	7

**Таблица 2.** Динамика проявления проектных рисков по годам и стадиям жизненного цикла месторождения

Стадии жизненного цикла месторождения	Годы	Вероятность проявления проектных рисков с учетом их значимости для инвестора								Степень рисков $\Sigma$
		Геологические	Инжиниринговые	Строительные	Финансовые	Маркетинговые	Управленческие	Юридические	Экологические	
ГРП	1	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,05	0,00	0,22
	2	0,04	0,00	0,00	0,02	0,00	0,08	0,04	0,00	0,18
Бурение и обустройство	1	0,03	0,01	0,00	0,03	0,00	0,06	0,04	0,01	0,18
	2	0,02	0,02	0,01	0,03	0,00	0,05	0,03	0,02	0,18
	3	0,01	0,04	0,06	0,03	0,01	0,05	0,03	0,04	0,27
	4	0,03	0,13	0,12	0,03	0,02	0,05	0,03	0,07	0,48
	5	0,00	0,15	0,20	0,05	0,03	0,05	0,03	0,09	0,62
	6	0,00	0,15	0,24	0,08	0,05	0,05	0,03	0,09	0,69
	7	0,00	0,15	0,24	0,08	0,08	0,04	0,02	0,07	0,68
	8	0,00	0,15	0,21	0,09	0,17	0,02	0,01	0,08	0,73
Стабильная и максимальная добыча	1	0,00	0,15	0,17	0,09	0,18	0,02	0,00	0,10	0,71
	2	0,00	0,15	0,16	0,09	0,17	0,02	0,00	0,12	0,71
	3	0,00	0,14	0,15	0,09	0,15	0,02	0,00	0,13	0,68
	4	0,00	0,11	0,15	0,09	0,14	0,01	0,00	0,13	0,63
	5	0,01	0,10	0,15	0,08	0,14	0,01	0,00	0,13	0,62
	6	0,01	0,09	0,15	0,07	0,14	0,01	0,00	0,11	0,58
	7	0,01	0,09	0,14	0,06	0,13	0,01	0,00	0,11	0,55
Резкое падение добычи	1	0,01	0,09	0,12	0,05	0,12	0,01	0,00	0,11	0,51
	2	0,02	0,08	0,11	0,05	0,10	0,01	0,00	0,10	0,47
	3	0,02	0,08	0,11	0,04	0,10	0,01	0,00	0,09	0,45
	4	0,02	0,08	0,11	0,03	0,09	0,01	0,00	0,08	0,42
Стабилизация падения добычи	1	0,03	0,08	0,07	0,02	0,09	0,01	0,00	0,08	0,38
	2	0,03	0,06	0,05	0,02	0,09	0,01	0,00	0,08	0,34
	3	0,03	0,05	0,04	0,02	0,09	0,01	0,00	0,07	0,31
	4	0,03	0,05	0,03	0,02	0,08	0,01	0,00	0,07	0,29
	5	0,03	0,05	0,03	0,02	0,08	0,00	0,00	0,07	0,28
	6	0,03	0,04	0,03	0,02	0,06	0,00	0,00	0,07	0,25
	7	0,03	0,04	0,03	0,02	0,02	0,00	0,00	0,06	0,20
Обводнение и консервация	1	0,03	0,04	0,02	0,01	0,03	0,00	0,00	0,04	0,17
	2	0,02	0,04	0,02	0,01	0,04	0,00	0,00	0,02	0,15
	3	0,01	0,03	0,02	0,01	0,03	0,00	0,00	0,02	0,12
	4	0,00	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,06
	5	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
Значимость риска для инвестора		0,07	0,15	0,24	0,09	0,18	0,09	0,05	0,13	1

кой обводненности, отдельные скважины выводятся из действующего фонда, что приводит к сокращению текущих затрат. Капитальные вложения снижаются до минимального низкого уровня, который сохраняется до конца разработки месторождения. То же самое происходит с чистым дисконтированным доходом.

**Стадия 5. Стабилизация падения добычи.** С этой целью уплотняется сетка бурения, проводятся мероприятия по усилению нефтеотдачи скважин, такие как гидроразрыв пласта, оптимизация заводнения, форсированный отбор жидкости и т.д. Продолжается остановка низкодебитных и обводненных скважин. Текущие затраты снижаются, а капитальные затраты на ремонт скважин и оборудования остаются на прежнем уровне. Чистый дисконтированный доход сохраняется на минимальном низком уровне.

**Стадия 6. Обводнение и консервация.** Наступает период резкого обводнения действующего фонда

скважин. К концу периода обводненность продукции большинства скважин составляет более 90%. Достигшие этого уровня скважины останавливаются, вследствие чего быстро снижаются текущие затраты. При этом капитальные затраты остаются минимальными, а чистый дисконтированный доход стремится к нулю.

Консервация месторождения заключается в постепенном выводе из действия низкодебитных и высокообводненных скважин. Решение об остановке каждой скважины принимается не только с учетом ее рентабельности, но и той роли, которую она играет в общей системе дренирования. При этом объем добычи и текущие затраты сокращаются до нуля. Чистый дисконтированный доход может иметь отрицательное значение в связи с произведенными затратами на консервацию месторождения.

На основе анализа индивидуальных рисков инвестиционного проекта «Сахалин-2» [6] по годам составлена матрица проектных рисков и вероятно-

сти их проявления по годам и стадиям жизненного цикла месторождения (табл. 1). При этом перечень содержит только те риски, на которые может оказывать влияние персонал нефтегазовой компании.

Для установления динамики проектных рисков по годам и стадиям жизненного цикла месторождения осуществляется дальнейшее преобразование матрицы табл. 1. Процесс преобразования включает в себя следующие этапы.

Осуществляется нормализация степеней значимости проектных рисков по следующему выражению:

$$k_j^* = \frac{k_j}{\sum_{j=1}^n k_j}, \quad (1)$$

где:  $k_j^*$  – нормализованная степень значимости  $j$ -го проектного риска;  $k_j$  – степень значимости  $j$ -го проектного риска,  $j=1,2,\dots,n$ ;  $n$  – количество проектных рисков.

В результате этих преобразований нормализованные степени значимости  $k_j^*$  будут удовлетворять условию:

$$\sum_{j=1}^n k_j^* = 1. \quad (2)$$

После этого для каждой стадии жизненного цикла и года освоения месторождения вычисляются вероятности проявления проектных рисков с учетом нормализованных степеней их значимости следующим образом:

$$P_{ij}^{r*} = P_{ij}^r \cdot k_j^*, \quad (3)$$

где:  $P_{ij}^r$  – вероятность проявления  $j$ -го проектного риска с учетом нормализованной степени его значимости на  $i$ -ом году  $t$ -ой стадии жизненного цикла месторождения,  $i=1,2,\dots,m$ ,  $t=1,2,\dots,q$ ;  $P_{ij}^r$  – вероятность проявления  $j$ -го проектного риска на  $i$ -ом году  $t$ -ой стадии жизненного цикла месторождения;  $m$  – количество лет  $t$ -ой стадии жизненного цикла месторождения;  $q$  – количество стадий жизненного цикла месторождения.

Для интегральной оценки всей совокупности проектных рисков, возникающих на  $i$ -ом году  $t$ -ой стадии жизненного цикла месторождения, вводится величина  $S_i^t$  – степень рисков, которая вычисляется по следующему выражению:

$$S_i^t = \sum_{j=1}^n P_{ij}^{r*}. \quad (4)$$

Степень рисков  $S_i^t$  представляет собой вероятность проявления на  $i$ -ом году  $t$ -ой стадии жизненного цикла месторождения хотя бы одного из  $n$  проектных рисков при условии, что нормализованные степени их значимости не равны 0. В соответствии с выражениями (2) и (3) для  $S_i^t$  выполняется условие:

$$S_i^t = \sum_{j=1}^n P_{ij}^{r*} \leq 1. \quad (5)$$

Результаты обработки матрицы рисков по выражениям (1–5) представлены в табл. 2.

Для анализа динамики проявления  $j$ -го проектного риска на различных стадиях жизненного цикла месторождения целесообразно выделить следующие интервалы изменений значений  $P_{ij}^r$  и  $S_i^t$  (табл. 3).

**Таблица 3.** Интервалы вероятности и степени проявления проектных рисков

$P_{ij}^r$		Вероятность проявления $j$ -го проектного риска	$S_i^t$		Степень проявления проектных рисков разработки месторождения
от	до		от	до	
0,00	0,05	незначительная	0,00	0,15	незначительные
0,05	0,10	низкая	0,15	0,30	низкие
0,10	0,15	средняя	0,30	0,45	средние
0,15	0,20	высокая	0,45	0,60	высокие
0,20	0,25	очень высокая	0,60	0,75	очень высокие

Таким образом, динамическая модель проектных рисков представляет собой схему финансирования инвестиционного проекта, построенную с учетом динамики проявления рисков по годам и стадиям жизненного цикла месторождения.

#### Метод адаптации базовой модели проектных рисков

Сущность предлагаемого метода адаптации базовой модели можно пояснить на примере инвестиционного проекта освоения одного из месторождений Томской области.

В результате сравнения схем финансирования инвестиционного проекта «Сахалин-2» и проекта освоения одного из месторождений Томской области можно установить, что существуют различия как в длительности стадий, так и периодичности их повторения. Следует заметить, что эти отличия характерны для большинства месторождений Томской области, табл. 4.

В предлагаемой методике адаптации базовой модели проектных рисков (проект «Сахалин-2») на характеристики жизненного цикла конкретного месторождения приняты следующие положения:

1. В пределах отдельных стадий вероятности проявления проектных рисков по годам и стадиям жизненного цикла месторождения монотонно возрастают или убывают (рис. 2).
2. Если жизненный цикл месторождения содержит повторяющиеся стадии (ПС) – освоение месторождения происходит постепенно, по мере выработки извлекаемых запасов отдельных участков, то в жизненном цикле этого месторождения выделяются базовые стадии, идентичные соответствующим стадиям базовой модели. Для базовых стадий месторождения значения вероятностей проявления проектных рисков принимаются равными значениям вероятности в базовой модели, т.е.  $P_{ij}^{r*}(M) = P_{ij}^r(B)$ . В качестве базовых стадий жизненного цикла месторождения выбираются те, объемы капитальных вложений и валовой выручки которых по отношению к идентичным ПС достигают своих максимальных значений. Корректировка величины вероятностей проявления проектных ри-

**Таблица 4.** Сравнительные характеристики жизненных циклов проекта «Сахалин-2» и проекта освоения одного из месторождений Томской области

Проект «Сахалин-2»		Проект освоения одного из месторождений Томской области		Причины существующих отличий
Стадии	Годы	Стадии	Годы	
ГРП	2	ГРП	2	Отличия отсутствуют
Бурение и обустройство	8	Бурение и обустройство	4	Отличия в длительности стадий. В проекте «Сахалин-2» наблюдается некоторый временной сдвиг (2 года) начала освоения капитальных вложений и бурения скважин, вызванный строительством морской платформы. При освоении месторождений в Томской области бурение скважин и обустройство выполняются одновременно.
Стабильная и максимальная добыча	7	Стабильная и максимальная добыча	8	Отличия в длительности стадии. В проекте «Сахалин-2» капитальные вложения на этой стадии незначительные, т.к. бурение скважин в основном закончено, оборудование закуплено и высокие текущие затраты связаны с его настройкой и эксплуатацией. В Томской области для обеспечения стабильной и максимальной добычи строится система поддержания пластового давления (закачка воды в пласт) и уровень капитальных вложений снижается постепенно. Одновременно растут текущие затраты.
Резкое падение добычи	4	Резкое падение добычи	10	Отличия в длительности стадии.
Стабилизация падения добычи	7	Бурение и обустройство (повторение стадии 2)	3	Отличия в способе стабилизации падения добычи и длительности повторяющихся стадий. В проекте «Сахалин-2» для стабилизации падения добычи на скважинах проводятся геолого-технические мероприятия, повышающие нефтеотдачу пластов. Стабилизация падения добычи Освоение средних и крупных месторождений Томской области происходит постепенно, по мере выработки извлекаемых запасов отдельных участков. Таким образом поддерживается стабильная добыча.
		Стабильная добыча (повторение стадии 3)	8	
		Падение добычи (повторение стадии 4)	4	
Обводнение и консервация	5	Обводнение и консервация	21	Отличия в длительности стадии.

сков ПС выполняется с учетом соотношений объемов капитальных вложений и валовой выручки повторяющихся и базовых стадий.

Введем обозначения:  $P_{ij}^r(B)$  – вероятность проявления  $j$ -го проектного риска с учетом нормализованной степени его значимости на  $i$ -ом году  $t$ -ой стадии базовой модели проектных рисков при  $i=1,2,\dots,m_i(B)$ ,  $t=1,2,\dots,q(B)$ ;  $m_i(B)$  – количество лет  $t$ -ой стадии базовой модели проектных рисков;  $q(B)$  – количество стадий базовой модели проектных рисков;  $P_{ij}^r(M)$  – вероятность проявления  $j$ -го проектного риска с учетом нормализованной степени его значимости на  $i$ -ом году  $t$ -ой стадии жизненного цикла месторождения при  $i=1,2,\dots,m_i(M)$ ,  $t=1,2,\dots,q(M)$ ;  $m_i(M)$  – количество лет  $t$ -ой стадии жизненного цикла месторождения;  $q(M)$  – количество стадий жизненного цикла месторождения.

Процесс адаптации базовой модели проектных рисков на жизненный цикл конкретного месторождения представляется целесообразным рассмотреть на основе данных табл. 3.

**Стадия 1. Геологоразведочные работы (ГРП).** Длительности стадий базовой модели и жизненного цикла месторождения совпадают:  $m_1(M)=m_1(B)$ . Следовательно, для этой стадии жизненного цикла месторождения будет выполняться условие:

$$P_{ij}^{1*}(M)=P_{ij}^{1*}(B).$$

**Стадия 2. Бурение и обустройство.** Длительности стадий базовой модели и жизненного цикла место-

рождения не совпадают:  $m_2(M)<m_2(B)$ . Кроме того, в проекте «Сахалин-2» наблюдается некоторый временной сдвиг (2 года) начала бурения скважин и обустройства, вызванный строительством морской платформы. Что касается месторождений Томской области, то бурение скважин и обустройство начинаются одновременно (рис. 3). При этом состав выполняемых работ на этой стадии в базовой модели и жизненном цикле месторождения совпадает, следовательно, совпадает характер проявления проектных рисков. Таким образом, процесс адаптация 2-ой стадии базовой модели заключается в ее настройке на длительность 2-ой стадии жизненного цикла месторождения с учетом временного сдвига. Сущность процесса адаптации поясняет рис. 1.

Вероятности проявления проектных рисков в первый и последний годы 2-ой стадии жизненного цикла месторождения с учетом временного сдвига (2 года) в базовой модели принимают следующие значения (рис. 1, б):

$$P_{1j}^{2*}(M)=P_{3j}^{2*}(B), P_{4j}^{2*}(M)=P_{8j}^{2*}(B).$$



**Рис. 1.** Распределение вероятностей проявления проектных рисков по годам 2-ой стадии

В соответствии с положения 1 методики адаптации базовой модели о монотонном характере динамики проявления проектных рисков и при условии, что  $m_2(M) < m_2(B)$  недостающие значения вероятностей проявления проектных рисков  $P_{2j}^{2*}(M)$  и  $P_{3j}^{2*}(B)$  могут быть получены из базовой модели путем выбора значений  $P_{ij}^{2*}(B)$ , равноудаленных друг от друга и от  $P_{4j}^{2*}(B)$  и  $P_{5j}^{2*}(B)$ .

Так как выполняется условие:  $m_i(M) < m_i(B)$ , то длина интервала равного удаления для выбираемых значений  $P_{ij}^{r*}(B)$  вычисляется по выражению:

$$r(B) = \frac{m_i(B) - m_i(M)}{m_i(M) - 1}, \quad (6)$$

где:  $r(B)$  – длина интервала (целое число) равного удаления значений  $P_{ij}^{r*}(B)$  в базовой модели;  $m_i(M) - 1$  – количество интервалов.

Для равномерной выборки значений  $P_{ij}^{r*}(B)$  необходимо, чтобы длины интервалов были равны, либо отличались на 1. В данном случае вычисленные с учетом временного сдвига  $m_i(B) = 6$  по выражению (6) значения интервалов  $r_1$  и  $r_2$  не удовлетворяют этому условию:  $r_1 = 0, r_2 = 2$  и, следовательно, их нужно скорректировать («сгладить»).

Сглаживание значений интервалов предлагается осуществлять по методу «скользящего среднего», приведенному в [9]. В соответствии с этим методом из совокупности интервалов выбираются те, у которых разница в длинах превышает 1 и для них вычисляется среднее. Этот процесс повторяется до тех пор, пока разница в значениях для любой пары интервалов не будет превышать 1. Таким образом, при  $m_i(B) = 6$  соответствующие интервалы, вычисленные по методу «скользящего среднего», будут равны:  $r_1 = 1, r_2 = 1$  и, соответственно, для стадии 2 жизненного цикла месторождения будут выбраны значения:  $P_{5j}^{2*}(B)$  и  $P_{7j}^{2*}(B)$  (рис. 1, б).

**Стадия 3. Стабильная и максимальная добыча.** Длительности стадий базовой модели и жизненного цикла месторождения различаются незначительно:  $m_3(M) - m_3(B) = 1$  (на 1 год). При этом характер проявления проектных рисков (геологических, инжиниринговых, строительных, финансовых и т.д.), связанных с выполнением всего комплекса работ по обеспечению стабильной и максимальной добычи, совпадает на этой стадии в базовой модели и жизненном цикле месторождения.



Рис. 2. Распределение вероятностей проявления проектных рисков по годам 3-ей стадии

В этих условиях представляется целесообразным вероятности проявления проектных рисков на 3-ей стадии жизненного цикла месторождения задать следующим образом:

$$P_{ij}^{3*}(M) = P_{ij}^{3*}(B), \text{ для всех } i=1,2,\dots,7;$$

$$P_{8j}^{3*}(M) = P_{7j}^{3*}(B).$$

Результаты адаптации этой стадии жизненного цикла месторождения представлены на рис. 2.

**Стадия 4. Резкое падение добычи.** Длительности стадий базовой модели и жизненного цикла месторождения не совпадают. При этом выполняется условие:  $m_4(M) > m_4(B)$  и, следовательно, необходимо внести изменения в описанный ранее (стадия 2) способ адаптации, применяемый при несовпадении длительности стадий базовой модели и жизненного цикла месторождения. Основные моменты, характеризующие способ адаптации при  $m_4(M) > m_4(B)$ , поясняет рис. 3.



Рис. 3. Распределение вероятностей проявления проектных рисков по годам 4-ой стадии

Для 4-ой стадии базовой модели и жизненного цикла месторождения значения вероятностей проявления проектных рисков в первый и последний годы принимаются равными:

$$P_{1j}^{4*}(M) = P_{1j}^{4*}(B), \quad P_{10j}^{4*}(M) = P_{4j}^{4*}(B).$$

Недостающие значения вероятностей проявления проектных рисков жизненного цикла месторождения в интервале от  $P_{1j}^{4*}(M)$  до  $P_{10j}^{4*}(M)$  могут быть получены следующим образом.

Определяется длина интервала равного удаления величин  $P_{ij}^{r*}(B)$ , выбираемых из базовой модели для задания границ изменений значений  $P_{ij}^{r*}(M)$  в пределах каждого интервала адаптируемой стадии жизненного цикла месторождения, по выражению:

$$r(M) = \frac{m_i(M) - m_i(B)}{m_i(B) - 1},$$

где:  $r(M)$  – длина интервала (целое число) равного удаления величин  $P_{ij}^{r*}(B)$  в стадии жизненного цикла месторождения;  $m_i(B) - 1$  – количество интервалов.

Для равномерного распределения выбранных по длине стадии жизненного цикла месторождения необходимо, чтобы длины интервалов были равны, либо отличались на 1. В данном случае  $r_1 = 2, r_2 = 2, r_3 = 2$  (рис. 2). Если длины интервалов отличаются более чем на 1, то осуществляется сглаживание значений интервалов по методу «скользящего среднего», изложенному ранее при адаптации стадии 2.

Промежуточные значения  $P_{ij}^{r*}(M)$  в пределах каждого интервала с учетом положения 1 методики адаптации базовой модели о монотонном характере динамики проявления проектных рисков, определяются по следующему выражению:

$$P_{s+1j}^{r^*}(M) = P_{sj}^{r^*}(M) + \frac{P_{i+1j}^{t^*}(B) - P_{ij}^{t^*}(B)}{r(M) + 1},$$

где:  $P_{s+1j}^{r^*}$  – промежуточное  $s+1$  значение вероятности проявления  $j$ -ого проектного риска  $t$ -ой стадии жизненного цикла месторождения, расположенное в пределах интервала от  $P_{ij}^{r^*}(B)$  до  $P_{i+1j}^{r^*}(M)$ ,  $i=1,2,\dots,m_j(B)$ ,  $s=1,2,\dots,r(M)$ .

Таким образом, вероятности проявления проектных рисков  $P_{ij}^{4*}(M)$  на 4-ой стадии жизненного цикла месторождения будут равны (при  $r_1=2$ ):

$$P_{1j}^{4*}(M) = P_{1j}^{4*}(B); P_{1j}^{4*}$$

$$P_{2j}^{4*}(M) = P_{1j}^{4*}(M) + \frac{P_{2j}^{4*}(B) - P_{1j}^{4*}(B)}{3};$$

$$P_{3j}^{4*}(M) = P_{2j}^{4*}(M) + \frac{P_{2j}^{4*}(B) - P_{1j}^{4*}(B)}{3};$$

$$P_{4j}^{4*}(M) = P_{3j}^{4*}(M) + \frac{P_{2j}^{4*}(B) - P_{1j}^{4*}(B)}{3}$$

или  $P_{4j}^{4*}(M) = P_{2j}^{4*}(B)$ .

Точно также определяются вероятности проявления проектных рисков  $P_{ij}^{r^*}(M)$  при  $r_2=2$  и  $r_3=2$ . Результаты вычислений отображены на рис. 3.

**Стадия 5. Стабилизация падения добычи.** В жизненном цикле данного месторождения наблюдается повторение стадий: бурение и обустройство, стабильная добыча, падение добычи. Это характерно для средних и больших месторождений, когда стабилизация уровня добычи достигается постепенным освоением отдельных участков. При этом характер выполняемых работ на ПС идентичен, однако они могут отличаться объемами капитальных вложений и валовой выручки. В общем случае эти отличия в ПС могут оказывать влияние на величину вероятностей проявления проектных рисков, и, следовательно, степеней рисков. Поэтому представляется целесообразным, руководствуясь положением 2 предлагаемой методики адаптации базовой модели на жизненный цикл конкретного месторождения, разработать некоторый способ корректировки величин проектных рисков ПС в зависимости от значений их экономических характеристик (капитальных вложений, текущих затрат и валовой выручки).

Анализ динамики проявления проектных рисков  $P_{ij}^{r^*}(B)$  в базовой модели на стадиях: бурение и обустройство, максимальная и стабильная добыча и резкое падение добычи показывает, что именно на этих стадиях значение степени риска  $s_j^r \geq 0,45$  и, следовательно, месторождение в эти периоды разрабатывается и эксплуатируется в условиях высоких и очень высоких проектных рисков. При этом проектные риски  $P_{ij}^{r^*}(B)$  этих стадий можно разбить на 2 группы, оказывающие существенное влияние на величину  $s_j^r$  ( $P_{ij}^{r^*}(B) > 0,05$ ) и незначительное влияние  $s_j^r$  ( $P_{ij}^{r^*}(B) \leq 0,05$ ).

К первой группе рисков относятся: строительные (максимальное значение  $P_{ij}^{r^*}(B)=0,24$ ), маркетинговые (максимальное значение  $P_{ij}^{r^*}(B)=0,18$ ), инженеринговые (максимальное значение  $P_{ij}^{r^*}(B)=0,15$ ), эко-

логические (максимальное значение  $P_{ij}^{r^*}(B)=0,13$ ), финансовые (максимальное значение  $P_{ij}^{r^*}(B)=0,09$ ).

Вторая группа рисков включает в себя геологические, управленческие и юридические. Значения вероятностей проявления этих рисков в ПС месторождения можно не корректировать, приняв равными базовым стадиям.

В свою очередь, проектные риски  $P_{ij}^{r^*}(B)$  первой группы делятся на риски, величина которых зависит от объемов капитальных вложений и текущих затрат на настройку и эксплуатацию технологического оборудования (строительные, инженеринговые и экологические) и риски, величина которых определяется валовой выручкой (маркетинговые, финансовые).

Коэффициент корректировки для рисков, зависящих от объемов капитальных вложений и текущих затрат, вычисляется по следующему выражению:

$$C_{ij}^{r^*}(M) = \frac{K_i^p(M)}{K_i^t(M)},$$

где:  $C_{ij}^{r^*}(M)$  – коэффициент корректировки вероятности проявления  $j$ -го проектного риска, зависящего от объема капитальных вложений и текущих затрат на  $i$ -ом году  $p$ -ой ПС, идентичной  $t$ -ой базовой стадии месторождения;  $K_i^p(M)$  – объем капитальных вложений и текущих затрат на  $i$ -ом году  $p$ -ой ПС, идентичной  $t$ -ой базовой стадии месторождения;  $K_i^t(M)$  – объем капитальных вложений и текущих затрат на  $i$ -ом году  $t$ -ой базовой стадии месторождения.

Коэффициент корректировки для рисков, зависящих от валовой выручки, определяется следующим образом:

$$F_{ij}^{r^*}(M) = \frac{V_i^p(M)}{V_i^t(M)} \frac{n!}{r!(n-r)!},$$

где:  $F_{ij}^{r^*}(M)$  – коэффициент корректировки вероятности проявления  $j$ -го проектного риска, зависящего от валовой выручки на  $i$ -ом году  $p$ -ой ПС, идентичной  $t$ -ой базовой стадии месторождения;  $V_i^p(M)$  – объем валовой выручки на  $i$ -ом году  $p$ -ой ПС, идентичной  $t$ -ой базовой стадии месторождения;  $V_i^t(M)$  – объем валовой выручки на  $i$ -ом году  $t$ -ой базовой стадии месторождения.

Корректировка вероятностей проявления проектных рисков для ПС  $P_{ij}^{r^*}(M)$  выполняется по следующим выражениям:

- для строительных, инженеринговых и экологических рисков

$$P_{ij}^{r^*}(M) = P_{ij}^{r^*}(B) * C_{ij}^{r^*}(M), \tag{7}$$

- для маркетинговых и финансовых рисков

$$P_{ij}^{r^*}(M) = P_{ij}^{r^*}(B) * F_{ij}^{r^*}(M). \tag{8}$$

Результаты выполнения 1-го этапа адаптации повторяющихся стадий жизненного цикла месторождения «Бурение и обустройство», «Стабильная добыча» и «Падение добычи» (табл. 3) представлены на рис. 4–6.



**Рис. 4.** Распределение по годам вероятностей проявления проектных рисков в базовой модели (2-я стадия) и ПС жизненного цикла месторождения «Бурение и обустройство»



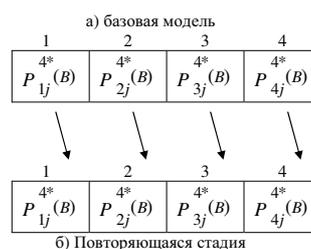
**Рис. 5.** Распределение по годам вероятностей проявления проектных рисков в базовой модели (3-я стадия) и ПС жизненного цикла месторождения «Стабильная добыча»

### Выводы

Процесс адаптации базовой модели на повторяющиеся стадии жизненного цикла месторождения выполняется следующим образом:

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Конопляник А., Лебедев С. Проектное финансирование в нефтегазовой промышленности: мировой опыт и начало применения в России // Нефть, газ и право. – 2000. – № 1–2. – С. 12–16.
2. Казаковцев Д.В. Стратегическое управление деловыми рисками в нефтегазовой отрасли // Нефть, газ и бизнес. – 2003. – № 3. – С. 4–6.
3. Боковня Р.Л. Особенности управления проектными рисками в нефтегазодобывающей отрасли // Технологии ТЭК. – 2003. – № 1. – С. 11–15.
4. Лукасевич И.Я. Методы анализа рисков инвестиционных проектов // Финансы. – 1998. – № 9. – С. 59–62.



**Рис. 6.** Распределение по годам вероятностей проявления проектных рисков в базовой модели (4-я стадия) и ПС жизненного цикла месторождения «Падение добычи»

1. При несовпадении длительности стадии базовой модели и ПС жизненного цикла месторождения применяются методы, изложенные ранее при адаптации 2, 3 и 4-ой стадий месторождения.
2. Для строительных, инжиниринговых и экологические риски ПС месторождения осуществляется корректировка вероятностей их проявления в соответствии с выражением (7).
3. Для маркетинговых и финансовых рисков ПС месторождения вероятности их проявления корректируются по выражению (8).
4. Для геологических, управленческих и юридических рисков ПС месторождения вероятности их проявления принимаются равными базовой модели.
5. Смоляк С.А. Учет специфики инвестиционных проектов при оценке их эффективности // Аудит и финансовый анализ. – 1999. – № 3. – С. 34–35.
6. Конопляник А., Лебедев С. Анализ рисков финансирования нефтегазовых проектов // Инвестиции в России. – 2001. – № 9. – С. 28–30.
7. Временное положение об этапах и стадиях геологоразведочных работ на нефть и газ / Приказ МПР России № 126 от 07.02.2001. – М.: МПР, 2001. – 16 с.
8. Байбаков М.К., Байков Н.М., Басниев К.С. и др. Вчера, сегодня, завтра нефтяной и газовой промышленности России / Под ред. Н.А. Крылова. – М.: ИПИРГИ, 1995. – 448 с.
9. Таха Х.А. Введение в исследование операций – М.: Издательский дом «Вильямс», 2005. – 912 с.