

Л. Л. КАУФМАН (США), Б. А. ЛЫСИКОВ, К. И. ЗАПОЛОВА (Донецкий национальный технический университет), И. Ж. СИРАЧЕВ (ОАО «Трест Донецкшахтопроходка», Донецк)

ОПЫТ ОЦЕНКИ РИСКОВ ПОДЗЕМНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

Наведено приклади будівництва підземного комплексу гідроелектростанції в Непалі та каналізаційного тунелю в США, в яких при визначенні кошторисної вартості враховувалися геотехнічні ризики.

Приведены примеры строительства подземного комплекса гидроэлектростанции в Непале и канализационного туннеля в США, в которых при определении сметной стоимости учитывались геотехнические риски.

The article gives examples of underground construction of hydropower station in Nepal and sewer tunnel in the USA. These projects pay attention to influence of geotechnical risks and their consequences.

Строительство подземных структур включает много геотехнических рисков, из-за чего участники проекта, финансирующие и выполняющие строительство, требуют их качественного и количественного анализа и учета при определении ожидаемого бюджета [1].

Примером такого строительства служит станция Nyadi Hydropower (Непал) мощностью 20 MW. Проектом, выполненным в 2000 г. предусматривалась базовая стоимость, равная 32,25 млн долл. со сроком строительства 5 лет. В состав проекта входили бетонная плотина через реку Nyadi, подземный резервуар, а также головной туннель, подводящий воду к турбинам по стальной напорной трубе длиной 3,7 км.

К сожалению, хотя в Непале ранее были построены подобные электростанции, участники проекта не располагали данными о фактических рисках подземного строительства и связанных с ними затратами. Поэтому единственной альтернативой для получения сведений о возможных опасностях был опрос людей, вовлеченных ранее в гидротехнические работы.

Приглашенный для оценки риска персонал имел значительный опыт и состоял из независимых консультантов. При обсуждении ими совместно с представителями подрядчика поставленных вопросов было принято решение о классификации рисков и их относительной важности (табл. 1).

Таблица 1

Классификация и относительная важность рисков

Вид риска	Факторы риска	Относительная важность, %
1	2	3
Риск общего характера	Подземные геологические условия	9,6
	Условия площадки строительства и другие изменяющиеся условия	5,4
	Ошибки проектирования	5,4
	Избыточная экскавация	11,2
	Всего	31,6
Риск единицы работ	Инфляция	2,5
	Колебания курса валют	4,6
	Дефектные работы	4,0
	Производительность труда	3,8
	Производительность оборудования	4,5
	Всего	19,4

Таблица 1 (окончание)

1	2	3
Риск нарушения графика строительства	Трудовые споры, забастовки	3,2
	Несчастные случаи, повреждения людей и собственности	4,4
	Запаздывание проектной документации	4,2
	Аварии оборудования	6,9
	Возможности ресурсов, своевременная поставка оборудования	6,6
	Изменения порядка переговоров и решения споров	3,4
	Неблагоприятные погодные условия	2,1
	Всего	30,8
Другие риски	Публичные беспорядки, терроризм	9,4
	Требование согласований и их получение	5,8
	Стандарты и правила	3,0
	Всего	18,2

В зависимости от предыдущей изученности факторов риска и имеющегося опыта было проведено ранжирование влияния этих факторов

на стоимость строительства. Для случая гидростанции Nyadi шкала ранжирования несколько изменена (табл. 2).

Таблица 2

Ранжирование влияния изученности факторов риска на стоимость строительства

Изученность факторов риска	Класс изученности риска	Краевые значения ранжирования	
		нижняя	верхняя
Хорошая	A	- 5 %	+ 20 %
Приемлемая	B	- 10 %	+ 30 %
Недостаточная	C	- 15 %	+ 50 %
Плохая	D	- 20 %	+ 100 %

Далее применительно к головному туннелю станции Nyadi рассматривается методика расчета влияния рисков на определение стоимости строительства.

На 1-ом шаге расчета в зависимости от сметной (базовой) стоимости объектов, входящих в комплекс головного туннеля и важности (веса) каждого фактора риска, были определены взвешенные базовые значения стоимости видов работ (табл. 3). На 2-ом шаге в зависимости от влияния изученности факторов риска были определены краевые значения взвешенной стоимости каждого вида работ (табл. 4).

Краевые значения определяют диапазон варьирования стоимости работ, а сумма этих значений – границы варьирования общих затрат на строительство головного туннеля. Од-

нако, вместо простого сложения краевых значений, для объективной оценки факторов риска был применен метод статистических испытаний Монте-Карло. С этой целью для каждого вида работ были построены треугольники вероятностного распределения, где в основаниях треугольников находятся базовые и краевые значения взвешенной стоимости работ из табл. 4, а высотой является их вероятность.

Предполагалось, что сложение таких треугольников, соответствующих видам работ, позволит получить функцию нормального распределения, для которой могут быть определены форма, дисперсия (мера разброса), среднее отклонение. С помощью специальных программ были получены четыре кривых распределения для каждого фактора риска.

Таблица 3

Взвешенные базовые значения стоимости работ, входящих в комплекс головного туннеля

Вид работ	Базовая стоимость тыс. долл.	Взвешенные базовые значения стоимости, тыс. долл.			
		Риск общего характера (вес 0,316)	Риск единицы работ (вес 0,194)	Риск нарушения графика (вес 0,308)	Другие риски (вес 0,182)
Обустройство площадки строительства	191,20	60,42	37,09	58,89	34,80
Портал	23,67	7,48	4,58	7,29	4,30
Эксплуатация туннеля	721,68	228,05	140,00	222,28	531,35
Железобетонная крепь	773,28	224,36	150,00	238,17	140,74
Анкерная крепь	215,59	68,13	41,82	66,40	39,24
Опережающая крепь	99,37	31,40	19,28	30,60	18,08
Разведочные скважины	19,37	6,12	3,76	9,97	3,53
Тампонажные работы	162,28	51,28	31,48	50,00	29,53
Бетонная крепь	251,20	79,38	48,73	77,37	45,72
Итого	2457,67	776,60	476,77	756,94	447,28
Прочие	451,28				
Всего	2908,95				

Таблица 4

Краевые значения взвешенной стоимости работ, входящих в комплекс головного туннеля

№ п/п	Виды работ	Полная базовая стоимость, тыс. долл.	Знак диапазона	Риск общего характера			
				Взвешенные базовые значения стоимости	Класс риска	Границы диапазона	Краевые значения стоимости
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Обустройство площадки строительства	191,20	- +	60,42	B	0,9 1,3	54,38 78,55
2	Портал	23,67	- +	7,48	A	0,95 1,2	7,10 8,98
3	Эксплуатация туннеля	721,68	- +	228,05	D	0,82	182,44 456,10
4	Железобетонная крепь	773,28	- +	224,36	C	0,85 1,5	190,71 336,54
5	Анкерная крепь	215,59	- +	68,13	B	0,9 1,3	61,32 88,57
6	Опережающая крепь	99,37	- +	31,40	B	0,9 1,3	28,26 40,82
7	Разведочные скважины	19,37	- +	6,12	B	0,9 1,3	5,51 7,96
8	Тампонажные работы	162,28	- +	51,28	D	0,82	41,02 102,56
9	Бетонная крепь	251,20	- +	79,38	D	0,82	63,50 158,76

Таблица 4 (продолжение)

Краевые значения взвешенной стоимости работ, входящих в комплекс головного туннеля

Риск единицы работ				Риск нарушения графика			
Взвешенные базовые значения стоимости	Класс риска	Границы диапазона	Краевые значения стоимости	Взвешенные базовые значения стоимости	Класс риска	Границы диапазона	Краевые значения стоимости
<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>	<i>13</i>	<i>14</i>	<i>15</i>	<i>16</i>
37,09	A	0,95 1,2	35,24 44,51	58,89	D	0,82	47,11 117,78
4,58	A	0,95 1,2	4,35 5,50	7,29	B	0,9 1,3	6,56 9,48
140,00	D	0,8 2	112,00 28,00	222,28	D	0,82	177,82 444,56
150,00	A	0,95 1,2	142,50 180,00	238,17	C	0,85 1,5	202,44 357,26
41,82	A	0,95 1,2	39,73 50,18	66,4	B	0,9 1,3	59,76 86,32
19,28	B	0,9 1,3	17,25 25,06	30,60	B	0,9 1,3	27,54 39,78
3,76	B	0,9 1,3	3,38 4,89	5,97	B	0,9 1,3	5,37 7,76
31,48	A	0,95 1,2	29,91 37,78	50,00	B	0,9 1,3	45,00 65,00
48,73	B	0,9 1,3	43,86 63,35	77,37	B	0,9 1,3	69,63 100,58

Таблица 4 (окончание)

Краевые значения взвешенной стоимости работ, входящих в комплекс головного туннеля

Другие риски			
Взвешенные базовые значения стоимости	Класс риска	Границы диапазона	Краевые значения стоимости
<i>17</i>	<i>18</i>	<i>19</i>	<i>20</i>
34,80	C	0,8...1,5	29,58...55,20
4,30	B	0,9...1,3	3,87...5,59
131,55	D	0,8...2,0	105,24...263,10
170,74	B	0,9...1,3	153,67...221,96
39,24	B	0,9...1,3	35,32...51,01
18,08	B	0,9...1,3	16,27...23,50
3,53	B	0,9...1,3	3,18...4,59
29,53	B	0,9...1,3	26,58...38,39
45,72	B	0,9...1,3	41,15...59,44

После их соединения определилась результирующая кривая нормального распределения, которая представила риск общего состава работ и позволила с достаточной степенью уверенности определить непредвиденные затраты, необ-

ходимые для успешного завершения строительства. Для головного туннеля электростанции Nyadi эти затраты составили 15 % от базовой стоимости (436,34 тыс. долл.).

Подобным же образом были определены непредвиденные расходы и для других объектов проекта. Их общая величина равнялась 20,2 % от базовой стоимости, что было на 7 % выше первоначально (без учета рисков) запланированных расходов [2–4].

В проекте строительства канализационного туннеля Fall Creek/White River, Indianapolis, Индиана (США) применялся регистр рисков, позволивший четко ограничить и идентифицировать опасности, возникающие при проходческих работах, их причины и возможные последствия. Так, в частности, на стадии предварительного выбора направления трассы туннеля оценивался риск притока подземных вод в трех вариантах маршрута и длины туннеля, которая колебалась от 12 до 17 км.

При строительстве использовались буровые туннельные машины, а в качестве постоянной крепи – монолитный бетон. Основные риски строительства включали:

- потенциальное воздействие на ближайшие существующие общественные и частные скважины водоснабжения;
- повышенное просачивание подземных вод в строящийся туннель и расходы на усиление системы водоотлива;

– истощение ресурсов водоснабжения района – природных подземных резервуаров.

Регистр рисков идентифицировал опасность притоков подземных вод с точки зрения соответствия регулирующим нормативам, контрактным документам, озабоченности акционеров, технологии и безопасности строительства.

По шкале от 5 баллов до 1 было произведено ранжирование вероятности рисков (табл. 5), а по шкале от 1 до 5 классифицировались их последствия (табл. 6).

Таблица 5

Классификация вероятности рисков

Класс вероятности рисков	Характеристика вероятности рисков
5	весьма вероятный
4	вероятный
3	случайный
2	маловероятный
1	весьма маловероятный

Затем результаты этих оценок вводились в регистр рисков (табл. 7).

Таблица 6

Тяжесть последствий рисков

Последствия риска	Тяжесть последствий рисков				
	незначительная	существенная	серьезная	тяжелая	катастрофическая
Финансовые потери. Воздействие на график строительства	менее 100 тыс. долл. 1...7 дней	100...700 тыс. долл. 7...21 дней	750 тыс....2 млн 21...90 дней	2 млн....10 млн 3...9 мес.	Более 10 млн долл. 9 мес....1 год и более
Социальная окружающая среда	Жалобы общественности	Запросы местных властей/политиков	Жалобы местных властей/политиков	Большое местное воздействие или малое национальное воздействие	Национальное или международное воздействие
Нормативные материалы, законы	Частичное несоблюдение	Несоблюдение с возможными претензиями третьего участника	Систематические несоблюдения с возможными штрафами или претензиями третьего участника на сумму 100000 долл.	То же с претензиями на сумму более 100000 долл.	Значительные последствия для старшего персонала, потенциально большой ущерб
Здоровье и безопасность	Малый травматизм или его опасность	Малый травматизм	Серьезная травма или множественные малые травмы	Множественные серьезные травмы или травмы третьего участника	Серьезная травма или смертность третьего участника
Окружающая природная среда	Малое кратковременное местное воздействие	Серьезное кратковременное местное воздействие	Кратковременное региональное воздействие	Долговременное местное воздействие	Долговременное региональное воздействие

Фрагмент регистра рисков при строительстве туннеля

Вид	Причина опасности	Возможные последствия	Вероятность риска (А)	Последствия риска (В)						Оценка риска С = А×В
				Финансовые	График строительства	Социальная среда	Нормативная база	Здоровье и безопасность	Природная среда	
Тампонажные работы	Тампонаж воздействует на скважины водоснабжения	Скважины перекрываются тампонажем	3	3	3	4	4			12
Устойчивость туннеля	Ошибки подрядчика	Задержка строительства	2	3	2					6
		Обрушение пород	2	4	5	4	3	4		10

Эта таблица представляет собой учебный фрагмент с тремя видами рисков из общего состава работ, представленного в регистре. Наконец, проводилась оценка опасности риска умножением класса вероятности риска из табл. 5 на наивысшую оценку его возможных последствий из табл. 6.

Результатом этих расчетов было зонирование опасностей рисков по категориям – низких, средних или высоких. Завершило оценку рисков применение метода Монте-Карло, который дал распределение общей вероятности вызванного рисками увеличения стоимости или срока строительства, что позволяет учесть в бюджете проекта дополнительные затраты на непредвиденные обстоятельства [5, 6].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кауфман, Л. Л., Геотехнические риски подземного строительства [Текст] / Л. Л. Кауфман, Б. А. Лысиков. – Донецк: Норд-Пресс, 2009. – 362 с.

2. Allocating the Risk of Subsurface Conditions on Underground Construction Projects [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ralaw.com/resourcess/documents/Allocating%20Risk>
3. Contract Strategies in Construction Projects [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: [http://www.atkinson-law.com/cases/Cases Articles/Contract-Strategies.htm](http://www.atkinson-law.com/cases/Cases%20Articles/Contract-Strategies.htm)
4. Hoek, E. Geotechnical Considerations in tunnel design and contract preparation [Электрон. ресурс] / E. Hoek. – Режим доступа: <http://www.rocsience.com/hoek/references/H1982.pdf>
5. Groundwater risk register [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://www.indygov.org/NR/rdonlyrer/IE9E43CO-7SAO-4D18>
6. Jsaksson, I. Model for estimation of time and cost based on risk evaluation applied on tunnel project [Электрон. ресурс] / I. Jsaksson. – Режим доступа: <http://www.diva-portal.org/kth/thesrs/abstract.xsql.dbid>

Поступила в редколлегию 11.03.2010.

Принята к печати 15.03.2010.