

РАЗРУШЕНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД. БУРОВЗРЫВНОЕ ДЕЛО

УДК 622.235:624.136

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА АВТОМОБИЛЬНЫХ И ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ НАСЫПЕЙ ПРИ ПЕРЕСЕЧЕНИИ БОЛОТ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЗРЫВНЫХ ТЕХНОЛОГИИ

С. В. КОРНИЛКОВ, М. В. КОРНИЛКОВ, Г. П. БЕРСЕНЕВ, И. И. ПЕТРУНИН
Институт горного дела Уральского отделения РАН,
Уральский государственный горный университет,
ООО «НПП «Взрывтехнология», Уральский филиал ОАО «ГипродорНИИ»

Рассмотрены технические и экономические вопросы применения взрывных работ, обеспечивающие качественную посадку грунтовой дорожной насыпи на минеральное дно болот при их глубинах до 7,0...7,5 м. Показана целесообразность проведения работ с применением взрывной технологии при мощности болотистых грунтов более 3,1...3,8 м.

Ключевые слова: взрывные работы, железнодорожные и автомобильные насыпи, посадка, технология.

Reviewed were the technical and economic aspects of blasting operations to ensure high-quality dirt road embankment landing on the bottom of the mineral marshes in their depths up to 7.0...7.5 m. The efficiency of the work with the explosive power of technology in the swampy ground more than 3.1...3.8 m is shown.

Key words: blasting, railway and road embankments, landing, technology.

Перспективным решением проблемы повышения эффективности строительства автомобильных и железных дорог в слабых грунтах и на болотах является применение взрывной технологии посадки грунтовой насыпи на плотное минеральное основание [1]. Работы предполагается выполнять в условиях континентального климата с длительной морозной и снежной зимой при проведении автодорог через торфяные болота глубиной от 1,0 до 8,0 м при наличии в массиве грунтовых вод на глубине до 0,1...0,3 м. Как правило, торфяные залежи имеют сложное строение, в них перемежается торф типов Ia, Ib и II разной мощности без какой-либо четкой закономерности. Граница кровли с природной влажностью менее 600 % в зависимости от мощности торфа находится в пределах от 2,5 до 4,5 м. Физико-механические свойства торфяной залежи из-за смерзания изменяются по сезонам. Возведение земляного полотна по традиционной технологии с использованием землеройной техники на болотах с такой большой мощностью весьма затруднительно.

В основу предусматриваемой технологии взрывопосадочных работ, обеспечивающей полное удаление болотистого грунта и качественную посадку грунтовой дорожной насыпи на минеральное дно болота, заложен принцип взрывания зарядов взрывчатых веществ (ВВ), располагаемых в нижней части болотной залежи на расчетном расстоянии как относительно дна и поверхности болота, так и относительно откосов предварительно отсыпанной насыпи. Расширяющиеся газообразные продукты детонации ВВ деформируют близлежащий массив водонасыщенного торфяного грунта и снижают его прочностные характеристики (сцепление, угол внутреннего трения) до значений, близких к нулю. Посадка насыпи на дно болота осуществляется под действием ее собственного веса в результате воздействия взрыва на болотистый грунт и материал насыпи.

Технология взрывопосадочных работ является цикличной. Технологический цикл взрывной посадки насыпей на дно болота включает: опережающее бурение и зарядание скважин, размещаемых перед телом насыпи, наращивание по высоте передовой части грунтовой насыпи, взрывание зарядов с созданием передовой полости, заполняемой материалом, слагающим тело строящейся насыпи, обрушающейся в болото, уплотнение материала насыпи в образовавшейся полости.

Основным условием успешного применения такого способа строительства является взаимоувязка интенсивности действия взрыва в торфяном массиве с предельным статическим состоянием грунтовой насыпи перед взрывом и динамикой сползания грунта насыпи в разжиженный и частично выброшенный взрывом болотный грунт.

При большой глубине болота посадка тела насыпи производится поэтапно. На первом этапе насыпь опускается на глубину до 3—4 м, а затем из-под нее удаляется торфяная масса за счет повторного взрывания зарядов ВВ, размещенных в скважинах, пробуренных с поверхности насыпи под ее основание.

Дополнительным преимуществом такого вида взрывных работ является тот факт, что автомобильная насыпь, опускаясь под влиянием собственного веса на минеральное дно болота, образует искусственные боковые слои уплотненного торфа, препятствующие деформации тела насыпи. Кроме того, сама насыпь дополнительно уплотняется взрывами последующих циклов. Таким образом, слабый неустойчивый болотистый грунт становится полезным элементом конструкции дорожного полотна, способствующим его длительной устойчивости, а само дорожное полотно становится более качественным.

Основным технологическим требованием к взрывопосадочным работам является необходимость первоначального бурения взрывных скважин на всю глубину болота с обсадкой, их зарядание и инициирование. При этом создается поперечная траншея и далее в зависимости от глубины болота возможны три варианта ведения взрывных работ:

- создание поперечной траншеи с посадкой основания насыпи на минеральное дно болота;
- посадка боковых откосов насыпи на минеральное дно болота;
- посадка основания насыпи, не достигшей минерального дна болота.

Основными параметрами буровзрывных работ во всех рассмотренных случаях являются: масса зарядов Q , глубина их заложения W , расстояние между зарядами в ряду a , расстояние от верхней бровки откоса насыпи до первого ряда скважин b .

При образовании поперечных траншей масса заряда в скважине при снятии верхнего торфяного покрова мощностью от 1,0 до 8,0 м определяется по формуле, кг:

$$Q = q_1 W^3 f(n),$$

где q_1 — удельный расход ВВ, принимаемый в зависимости от зольности торфа (в расчетах $q_1 = 0,8$ кг/м³); W — мощность (глубина) взрываемого торфяного болота ($W = 1,0 \dots 8,0$ м); $f(n)$ — функция показателя действия взрыва заряда ВВ.

Предварительные расчеты, выполненные в соответствии с представленной формулой, свидетельствуют:

— для малой мощности болота (до 1,0...2,0 м) расчетная масса зарядов не обеспечивает выброс торфяной массы впереди насыпи на необходимый шаг ее наращивания из-за малой массы ВВ;

— для большой мощности торфяного болота (более 4,0 м) расчетная масса зарядов при принятых диаметрах взрывных скважин (132; 152; 172 мм) потребует значительного сокращения расстояния между ними, что приведет к существенному нарушению уже возведенной части насыпи.

Поэтому согласно п. 15.54 «Технических правил ведения взрывных работ на дневной поверхности» расчет массы заряда осуществлен на основании принятой

вместимости 1 пог. м скважин и допустимой длины заряда. Поэтому основные параметры буровзрывных работ определялись из следующих соотношений:

$$l_{\text{зар}} = 0,75l_{\text{скв}} = 0,75W, \text{ м}; Q_{\text{зар}} = pl_{\text{скв}}; a = W(f(n))^{1/3},$$

где p — вместимость 1 пог. м скважины, кг; $f(n)$ — показатель действия взрыва (принято $f(n) = 1,0$); $W_{\text{ВВ}}$ — глубина заложения зарядов ВВ (принимается равной глубине болота).

Расстояние от видимой части нижней бровки откоса насыпи до первого ряда скважин $b = K_1 \sqrt[3]{Q}$ м, где K_1 — коэффициент, зависящий от увеличения степени разложения торфа, $K_1 = 0,5 \dots 1,0$.

При расчете вместимости скважин при взрывании в слабых и сильноводоносных торфяных грунтах диаметр заряда принят меньше диаметра скважины на 20...30 мм. Тогда расчетная вместимость при принятом диаметре взрывных скважин 132, 152 и 172 мм при разных диаметрах зарядов ВВ составляет: 5,7 кг/м для $d_{\text{зар}} = 90$ мм; 10,0 кг/м для $d_{\text{зар}} = 120$ мм; 16,0 кг/м для $d_{\text{зар}} = 150$ мм.

Первоначальные расчеты произведены для следующих дополнительных исходных условий: удаление скважин первого ряда от нижней бровки, видимой на уровне болота, составляет в зависимости от условий бурения $b = 0,5 \dots 1,0$ м; угол наклона скважин — 80° ; ширина насыпи по верху — 20,0 м; превышение насыпи над уровнем болота — 1,0 м.

Проектный расход ВВ $Q_{\text{зар}}$ был определен исходя из расчетного веса заряжаемого ВВ и объема торфяного массива $V_{\text{т}}$, взрываемого за один цикл, который определен по формуле (м^3):

$$V_{\text{т}} = mH_6B_{\text{н}},$$

где $m = H_6$ — шаг посадки насыпи; $B_{\text{н}}$ — средняя ширина насыпи.

При взрывопосадочных работах, выполняемых в весенне-летней период, для создания поперечных траншей принято взрывание скважин в один ряд (в первую очередь, по условиям безопасности бурения). Основные показатели взрывных работ в зависимости от глубины болота могут быть охарактеризованы данными, приведенными в табл. 1, где $N_{\text{зар}}$ — количество одновременно взрываемых зарядов диаметром $d_{\text{зар}}$; $\Sigma Q_{\text{зар}}$ — суммарная масса одновременно взрываемых зарядов; $l_{\text{скв}}$ — суммарная длина скважин, пробуриваемых за один цикл посадки насыпи; $q_{\text{пр}}$ — проектный расход ВВ, $\text{кг}/\text{м}^3$; $q_{\text{г.м}}$ — выход горной (торфяной) массы в 1 пог. м скважины.

Анализ данных табл. 1 свидетельствует о том, что при глубине болота до 2,0 м проектный расход ВВ весьма значителен, поэтому в данном случае с технической точки зрения более рационально использовать традиционную технологию строительства насыпи. При глубине болота 2,0...3,5 м проектный расход ВВ находится в пределах расчетных значений для диаметров заряда 120...150 мм (выделено курсивом) и взрывные технологии достаточно эффективны. Снижение расхода ВВ за пределами мощности болота 3,5...4,0 м (выделено жирным шрифтом) свидетельствует о том, что в данном случае необходимо переходить на поэтапную посадку насыпи.

Расчеты, обосновывающие экономическую эффективность применения энергии взрыва при строительстве насыпей в болотистых грунтах, произведены с использованием укрупненных экономических показателей, приведенных к стоимости строительства 1 км дорожной насыпи.

Ожидаемый экономический эффект может быть достигнут за счет сокращения объема земляных работ при возведении дорожного полотна с применением буровзрывных работ по сравнению с традиционной технологией, о чем свидетельствуют данные опытных работ, проведенных в ПО «Юганскнефтегаз» в 1988 г., а также снижения трудоемкости взрывопосадочных работ по сравнению с традиционной технологией при полном удалении грунта до минерального основания болота и, соответственно, снижения затрат на его выемку.

При выполнении сравнительных технико-экономических расчетов оценены три основных варианта.

1 вариант: расчеты выполнялись из предположения, что взрывные технологии обеспечат переуплотнение болотистых грунтов и объем работ по отсыпке земляной насыпи сократится с соответствующей дополнительной экономией работ по выторфованию до минерального основания болота по сравнению с традиционной технологией строительства насыпи;

Таблица 1

Показатели взрывных работ

W, м	V _т , м ³	N _{зар} , шт., при d _{зар} , мм			ΣQ _{зар} , кг, при d _{зар} , мм			Σl _{скв} , м, при d _{зар} , мм		q _{пр} , кг/м ³	q _{гмс} , м ³ /м
		90	120	150	90	120	150	90, 120	150		
1,0	20	14	14	11	80	105	132	14,0	11,0	2,0/5,3/6,6	1,43/1,82
1,5	45	14	14	11	90	157	197	21,0	16,5	2,0/3,5/4,4	2,14/2,72
2,0	80	13	13	10	111	195	270	26,0	20,0	1,4/2,4/3,0	3,08/4,00
2,5	125	11	11	9	116	206	269	27,5	22,5	0,93/1,6/2,2	4,55/5,56
3,0	180	9	9	8	115	202	288	27,0	24,0	0,67/1,1/1,6	6,67/7,50
3,5	245	8	8	7	119	210	293	28,0	24,5	0,48/0,86/1,2	8,75/10,00
4,0	320	7	7	6	119	210	288	28,0	24,0	0,37/0,66/0,9	11,43/13,33
4,5	405	7	7	5	137	236	270	31,5	22,5	0,33/0,58/0,67	12,86/18,00
5,0	500	7	7	5	150	262	300	35,0	25,0	0,30/0,52/0,6	14,29/20,00
5,5	605	6	6	5	141	247	330	33,0	27,5	0,23/0,41/0,54	18,33/22,00
6,0	720	5	5	5	128	225	360	30,0	30,0	0,18/0,31/0,5	24,00/24,00
6,5	845	5	5	5	139	244	390	32,5	32,5	0,16/0,29/0,46	26,00/26,00
7,0	980	5	5	5	149	262	420	35,0	35,0	0,15/0,27/0,43	28,00/28,00
7,5	1037	5	5	5	154	270	432	36,0	36,0	0,15/0,26/0,42	28,81/28,81

0,37/0,66/0,9 — соответственно проектный расход ВВ при диаметре скважинного заряда 90/120/150 мм; 4,55/5,56 — соответственно выход торфяной массы с 1 пог. м скважины при диаметре зарядов 90;120/150 мм.

2 вариант: расчеты выполнялись из предположения, что взрывные технологии обеспечат создание полости, по объему сопоставимой с традиционной технологией. В этом случае экономия будет достигнута только за счет сокращения затрат на извлечение торфяных грунтов до минерального основания болота и сопутствующие этому работы;

3 вариант: предусматривает сокращение объемов отсыпки земляной насыпи и дополнительно затрат на бурение за счет обучения персонала и перехода на хозяйственный способ выполнения буровых работ.

Расчет экономической эффективности для болот I—III типов по сложности их строения и трудности отработки выполнен на основании данных опытных работ Уральского филиала ОАО «ГипродорНИИ». Поскольку капитальные затраты в оцениваемых вариантах и при использовании традиционной технологии примерно одинаковы, в табл. 2 приведены сведения о разности текущих расходов по отношению к экскаваторному способу производства земляных работ.

Результаты выполненных исследовательских и проектных работ позволяют сделать следующие выводы.

1. Сравнительный анализ технико-экономических показателей подтвердил целесообразность проведения земляных работ с применением взрывопосадочной технологии.

2. В соответствии с приведенными расчетами взрывопосадочная технология может быть эффективно использована при глубине болота более 3,1...3,8 м.

3. Эффект достигается за счет исключения целого этапа работ, применяемого при традиционной технологии — удаления болотной толщи машинами и механизмами.

4. При взрывопосадочной технологии значительно повышается качество работ:

— под действием взрывной волны торф из-под основания насыпи, как правило, удаляется полностью, что исключает в дальнейшем какие-либо деформации насыпи;

— выжимание торфа в стороны под действием взрыва и оползание конуса грунта создают плотный экран из торфа, не дающий насыпи расползаться с течением времени, придавая большую статичность всей конструкции;

— высокое качество сооружаемого земляного полотна достигается также за счет уплотнения грунта насыпи последующими взрывами; действие взрыва, создающего эффект вибрации при прохождении ударной волны по грунту, позволяет довести его плотность до оптимальной;

— применение взрывопосадочных технологий возможно на любых типах болот независимо от их мощности и времени года.

Таблица 2

Эффективность оцениваемых вариантов (млн р./км) и их характеристика

Глубина болота, м	Способ выполнения буровых работ								
	Привлечение специализированных организаций			Хозяйственный способ					
	Объемы отсыпки грунта по сравнению с традиционным способом								
	Объемы меньше			Объемы сопоставимы			Объемы больше		
	Типы болот по сложности и трудности разработки								
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
2,0	-3,45	-4,26	-4,37	-5,21	-5,68	-5,900	-0,45	-1,26	-1,27
3,0	-942,00	+1,08	+1,30	-1,97	-2,36	-2,380	+3,19	+3,33	+3,55
4,0	+4,84	+7,01	+7,63	+0,71	+0,76	+0,840	+6,59	+8,76	+9,38
5,0	+7,71	+13,01	+14,19	+2,48	+2,97	+3,240	+9,50	+14,76	+15,94
6,0	+9,24	+18,70	+20,59	+2,79	+4,12	+4,500	+11,58	+21,03	+22,93
7,0	+12,06	+26,90	+29,67	+4,51	+6,80	+7,089	+14,40	+29,23	+32,01

5. При глубинах болота 2,1...2,3 м эффективность применения взрывных работ может быть достигнута за счет снижения стоимости бурения. Это может быть обеспечено за счет отказа от привлечения для бурения скважин подрядной организации (отсутствие высоких накладных и командировочных расходов, ликвидация простоев оборудования, возможность совмещения работ на бурении других обязанностей и др.).

6. При невозможности обеспечения полной посадки насыпи на минеральное основание за один этап (при глубинах болота 5—7 м и более) возможно применение взрывов второго этапа (посадка насыпи, не достигшей минерального дна болота). Расчетами показано, что при увеличении объема и стоимости работ, проводимых в два этапа, взрывопосадочная технология также эффективна.

7. Контроль качества строительства насыпей в приведенных условиях рекомендуется осуществлять с использованием геофизических методов.

Для реализации предложенной технологии разработан и согласован соответствующий проект опытно-промышленной стадии производства работ, на основании которого эффективность и удельные показатели отдельных операций подлежат уточнению.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Временная инструкции по посадке насыпи взрывным способом на минеральное дно болот при строительстве автомобильных дорог. Каунас, 1977.
2. Буровзрывные работы на транспортном строительстве / Я. Н. Эстеров [и др.]. М.: Транспорт, 1966.
3. Евгеньев И. Е. Строительство автомобильных дорог через болота. М.: Транспорт, 1968.

Поступила в редакцию 4 февраля 2011 г.