

Технология и техника геологоразведочных работ

УДК 622.26

ПОВЫШЕНИЕ ФОНДООТДАЧИ САМОХОДНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПРИ МНОГОЗАБОЙНОЙ ПРОХОДКЕ РАЗВЕТВЛЕННЫХ СИСТЕМ ПОДЗЕМНЫХ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

В.Г. Лукьянов, А.В. Панкратов

Томский политехнический университет

E-mail: lev@tpu.ru

Показана экономическая эффективность многозабойной организации работы звеньев, управляющих работой самоходного оборудования.

Ключевые слова:

Технология горного производства, эффективность многозабойной организации работы звеньев, самоходное оборудование, экономическая, проходческий цикл.

Key words:

Mining technology, economic efficiency, multibottomhole operation system, self-powered equipment, sinking cycle.

Несмотря на общее снижение объемов горно-проходческих работ, повышение фондоотдачи капиталоемкого самоходного оборудования, действующего на добычных и разведочных горизонтах (буровые каретки (БК), погрузочно-доставочные (ПДМ) и породопогрузочные машины (ППМ), перегружатели и т. д.), является по-прежнему актуальной задачей.

Результаты проходки эксплуатационных [1–3] и горно-разведочных [4–6] выработок на золоторудных и россыпных месторождениях Сибири и Северо-Востока для условий Майской и Дукатской геолого-разведочных экспедиций ПГО «Севостгеология» (Магаданская область) показывают, что использование самоходного оборудования только в одном забое малоэффективно. Производительность труда проходчиков комплексной бригады при этом возрастает незначительно, а себестоимость проведения выработок выше по сравнению с применением обычных комплексов на базе переносного бурового оборудования (ручные перфораторы, ППМ, состав вагонеток и аккумуляторный электровоз).

Наличие необходимого фронта работ при сооружении разветвленных систем горизонтальных выработок и техническая производительность существующих самоходных машин позволяет последним обслуживать за смену несколько смежных забоев, что приводит к уменьшению внутрисмен-

ных простоев и повышению фондоотдачи проходческого оборудования. Но, поскольку, такая организация работ подразумевает специализацию звеньев комплексной проходческой бригады на выполнении основных операций цикла, то возникает проблема минимизации простоев этих звеньев при переходе вместе с соответствующим оборудованием в другой действующий забой, в котором еще не закончена предшествующая данному процессу операция проходческого цикла.

Опыт проведения выработок с применением комплексов самоходного оборудования свидетельствует о том, что основным резервом повышения эффективности проходческих работ при установленных рациональных параметрах буровзрывных работ является не повышение производительности по одному какому-либо процессу цикла, а уровень многозабойного использования каждой из машин, входящих в состав комплекса. На практике это требует более четкой взаимно-увязки между собой смежных операций проходческого цикла по сравнению с базовой схемой организации работ, когда буровое либо погрузочное оборудование периодически простаивает в данном забое либо на призабойной тупиковой разминовке в ожидании фронта работ.

В работе [6] была предложена методика расчета графика организации работ, позволяющая минимизировать простои основного проходческого обо-

рудования при эксплуатации последнего в течение смены в нескольких смежных забоях. Идеи предложенного подхода были впоследствии развиты в работе [7], что позволило оценить то максимально-допустимое расстояние между смежными забоями, при превышении которого такая организация работ становится не эффективной. В настоящей работе обобщаются результаты предыдущих исследований на случай, когда звенья уборки (с ПДМ или ППМ и перегружателем), бурения (с БК) и заряжения-взрывания шпуров работают в течение смены в нескольких удаленных друг от друга забоях разветвленной системы выработок, имеющей древовидную структуру. Построение графика организации работ и расчет периодических простоев оборудования (после переезда в другой забой) при его эксплуатации в нескольких смежных забоях предложено производить с помощью следующей системы аналитических зависимостей:

$$T_{\text{ц}} = n_3 \max \{T_{\text{ц}0} / n_3, T_{\text{jm}} + \bar{T}_{\text{неп} \text{ } j m}\}; \quad (1)$$

$$T_{\text{пр} \text{ } \text{ц} \text{ } j} = \sum_{K=1, n_3} T_{\text{пр} \text{ } 3 \text{ } \text{Б} \text{ } i_{K+1}}^j = n_3 [T_{\text{max}} - (T_j + \bar{T}_{\text{неп} \text{ } j})]; \quad (2)$$

$$T_{\text{пр} \text{ } 3 \text{ } \text{Б} \text{ } i_{K+1}}^j = \max \{0, T_{\text{ц}0} n_3 - (T_{\text{jm}} + \bar{T}_{\text{неп} \text{ } j m})\} + \Delta T_{i_{K+1}}^j, \quad (3)$$

при условии, что

$$\Delta T_{i_{K+1}}^j = (T_{\text{jm}} + T_{\text{неп} \text{ } i_{K+1}}^{\text{jm}}) - (T_j - T_{\text{неп} \text{ } i_{K+1}}^j) \geq 0;$$

$$T_{\text{jm}} + \bar{T}_{\text{неп}} = \sum_{1 \leq j \leq 3}^m \{T_j + \bar{T}_{\text{неп}}\};$$

$$\bar{T}_{\text{неп} \text{ } j} = \sum_{K=1, n_3} T_{\text{неп} \text{ } K \text{ } i_{K+1}} / n_3;$$

$$T_{\text{ц}0} = T_{\text{y}} + T_{\text{б}} + T_{\text{з-б}} + T_{\text{пр}};$$

$$1 \leq j \leq 3; K = 1, 2, \dots, n; i_{n+1} = i_1,$$

где $T_{\text{ц}}$ – продолжительность полного цикла обслуживания n_3 забоев (с возвращением соответствующего специализированного звена (оборудования) в исходный забой i_1 , ч; T_{jm} – время наиболее продолжительного из процессов цикла; n_3 – число смежных забоев, обслуживаемых за смену каждым из звеньев; $T_{\text{ц}0}$ – нормативная продолжительность цикла при последовательном выполнении основных процессов в каждом из n_3 действующих на горизонте забоев по схеме: один забой один комплект забойного оборудования, ч; $T_{\text{пр} \text{ } \text{ц} \text{ } j}$ – суммарная продолжительность простоев звена, выполняющего j -ю операцию цикла (в ожидании фронта работ после перевода соответствующего оборудования в очередной действующий забой), до полного завершения выполнения последней во всех n_3 забоях, ч; $T_{\text{пр} \text{ } 3 \text{ } \text{Б} \text{ } i_{K+1}}^j$ – продолжительность простоя звена (оборудования) после выполнения j -го процесса цикла в i_K -м забое и переходе (переезде) его в очередной i_{K+1} -й забой, ч; T_j – продолжительность выполнения j -го процесса цикла ($T_1 = T_{\text{y}}$ – уборки отбитой за взрыв горной массы, $T_2 = T_{\text{б}}$ – бурения шпуров, $T_3 = T_{\text{з-б}}$ – заряжения и взрывания шпу-

ров), ч; $T_{\text{пр}}$ – продолжительность проветривания забоя после взрыва, ч; $T_{\text{неп} \text{ } i_{K+1}}^j$ – время переезда (переезда) машины, выполняющей j -й процесс цикла, из забоя выработки с номером i_K в забой выработки с номером i_{K+1} , ч; $\bar{T}_{\text{неп} \text{ } j}$ – среднее время переезда машины (перехода звена), выполняющей j -й процесс цикла, из одного забоя в другой, ч.

Примечания:

1. Поскольку разветвленная сеть сооружаемых выработок имеет древовидную структуру, то последовательность обхода действующих на горизонте забоев $P = (i_1 - i_2 - \dots - i_{n_3} - i_{n_3+1} = i_1)$ не имеет значения.
2. Транспортировка между удаленными забоями оборудования на колесно-рельсовом ходу БК или ППМ осуществляется аккумуляторными электровозами.
3. Система уравнений (1–3) приведена для случая, когда расстояние между смежными забоями не менее разрешенного едиными правилами безопасности при взрывных работах (75 м для прямых магистральных выработок и 50 м для искривленных геологоразведочных выработок). Тогда во время заряжения и взрывания шпуров в одном из забоев уборка горной массы или бурения шпуров в других забоях не прекращаются. В частном случае, когда самоходное оборудование комплекса работает в течение смены не более чем в двух забоях (что позволяет совмещать бурение шпуров в одном из забоев с работами по погрузке, транспортировке горной массы и выполнению вспомогательных операций в другом забое), на основании предложенных зависимостей (1–3) получим:

$$T_{\text{ц}} = 2 \max \{0, 5 T_{\text{ц}0}, \max_{1 \leq j \leq 3} \{T_j + T_{\text{неп} \text{ } j}\}\}; \quad (4)$$

$$T_{\text{пр} \text{ } 3 \text{ } \text{Б} \text{ } j} = 0, 5 T_{\text{ц}} - (T_{\text{ц}} + T_{\text{неп}}), \quad 1 \leq j \leq 3. \quad (5)$$

При подстановке конкретных значений времени выполнения основных операций проходческого цикла в системе (4) и (5) нулевое (либо отрицательное) значение простоя оборудования (когда $T_{\text{пр} \text{ } 3 \text{ } \text{Б} \text{ } j} \leq 0$) означает простой подготовленного забоя в ожидании прибытия соответствующего проходческого звена (при этом $T_{\text{ц}} > T_{\text{ц}0}$). Из приведенных выше формул вытекает, что для того, чтобы время цикла $T_{\text{ц}}$ (обслуживание нескольких забоев специализированными звеньями) не превышало $T_{\text{ц}0}$ (последовательное выполнение основных процессов цикла комплексным проходческим звеном), продолжительности переездов соответствующего забойного оборудования $T_{\text{неп} \text{ } j}$ должны удовлетворять следующим неравенствам:

$$T_{\text{неп} \text{ } j} = L_3 V_{\text{неп} \text{ } j} \leq (0, 5 T_{\text{ц}0} - T_j); \quad 1 \leq j \leq 3, \quad (6)$$

где L_3 – среднее расстояние между забоями сооружаемых выработок в процессе их проходки, м; $V_{\text{неп} \text{ } j}$ – средняя скорость транспортировки переезда по выработкам забойного оборудования, выполняющего j -й процесс цикла (БК; ППМ (ПДМ) или

перегрузателя), которая не должна превышать максимально-допустимой правилами безопасности не более 60 м/мин), м/ч.

Из неравенств (6) следует, что максимальное расстояние $L_{3\max}$ между смежными забоями, при превышении которого перегон оборудования становится нецелесообразным (поскольку время цикла $T_{\text{ц}}$ будет больше нормативного $T_{\text{ц}0}$), не должно превышать наименьшей из величин

$$L_{3\max} \leq \min_{1 \leq j \leq 3} \{V_{\text{пер}j} (0,5T_{\text{ц}0} - T_j)\}. \quad (7)$$

Если $L_3 < L_{3\max}$, то $T_{\text{ц}} = T_{\text{ц}0}$, если $L_3 > L_{3\max}$, то $T_{\text{ц}} > T_{\text{ц}0}$. Если при подставке конкретных значений в формулу (7) максимальное расстояние перемещения оборудования окажется отрицательным $L_{3\max} < 0$, т. е. $0,5T_{\text{ц}0} < T_{\text{ж}}$ (где $T_{\text{ж}}$ – время наиболее продолжительного из процессов цикла), то это означает, что использовать данный комплекс машин в двух и более забоях нецелесообразно из-за больших простоев последних в ожидании прибытия проходческих звеньев.

График организации работ звеньев бурения и уборки, управляющих комплексом самоходного оборудования (в составе БК СБКН-2м и ППМ ППН-1с), применявшегося в 1980–1985 гг. при проходке подходов и вскрывающих выработок в организациях ПГО «Севостгеология» для следующих значений составляющих цикла, можно считать как:

$$T_{\text{у}} = 2,3 \text{ ч } (T_{\text{перу}} = 0,2 \text{ ч}); T_{\text{б}} = 2,4 \text{ ч } (T_{\text{перб}} = 0,3 \text{ ч});$$

$$T_{3-Б} + T_{\text{пр}} = 1,3 \text{ ч и } T_{\text{ц}0} = 6 \text{ ч.}$$

Подставляя в неравенства (7) соответствующие расчетные данные, получим:

1. Периодические простои (которые на циклограмме отмечаются горизонтальным пунктиром) ППМ (звена уборки) и БК (звена бурения) в ожидании фронта работ после их переезда в смежный забой составят 0,5 и 0,3 ч соответственно. Эти простои допустимы, т. к. не приводят к увеличению продолжительности цикла по сравнению с нормативной, т. е. $T_{\text{ц}} = T_{\text{ц}0} = 6 \text{ ч}$.
2. Максимальное расстояние между смежными забоями, при котором время цикла остается постоянным и равным нормативному, не должно в процессе проходки превышать для:
 - БК (при средней скорости ее транспортировки по выработкам – 2,5 км/ч) – 1500 м;
 - ППМ (при средней скорости ее перегона – 3,0 км/ч) – 2100 м.

Окончательно для данного комплекса машин в качестве максимального расстояния между обслуживаемыми забоями принимаем минимальную из двух величин, т. е. 1500 м.

Экономическую эффективность многозабойной организации работы звеньев, управляющих работой самоходного оборудования, по сравнению с работой комплексного проходческого звена на базе переносного бурильного оборудования, предложено оценивать с помощью следующей модели приведенных затрат

$$Z_{\text{пр}} = \left[\frac{T_{\text{ц}} N_{\text{БР-СМ}}}{n_3 l_{\text{уХ}}} \times \left(\frac{N_{\text{у}} C_{\text{Т.у}} + N_{\text{б}} C_{\text{Т.б}}}{N_{\text{у}} + N_{\text{б}}} \right) K_{\text{н}} + \frac{C_{\text{л.г}}}{V_{\text{г}}} + Z_{\text{з.б}} \right] \times K_{\text{н.р}} + \frac{Z_{\text{к.г}}}{V_{\text{г}}} \Rightarrow \min; \quad (8)$$

$$V_{\text{г}} = n_3 l_{\text{уХ}} S \mathcal{Q}_{\text{г.уЧ}} / T_{\text{ц}}, \quad (9)$$

где $Z_{\text{пр}}$ – приведенные затраты на проходку по принятому варианту организации работ, р/м³; $l_{\text{уХ}}$ и S – уходка забоя за взрыв и площадь поперечного сечения сооружаемых выработок (проектная или рассчитанная в соответствии с требованиями единых правил безопасности для работы оборудования непосредственно в забое либо для безопасного перемещения его по выработкам), м²; $N_{\text{БР-СМ}}$, $N_{\text{у}}$, $N_{\text{б}}$ – численность бригадосмены проходчиков, эксплуатирующих принятый комплекс оборудования, и нормы обслуживания соответственно погрузочно-транспортных и буровых машин комплекса (минимально-необходимая численность звеньев уборки и бурения), чел.; $N_{\text{у}} C_{\text{Т.у}} + N_{\text{б}} C_{\text{Т.б}}$ – средние тарифные ставки проходчиков, занятых соответственно уборкой горной массы и бурением шпуров, р/чел.-ч.; $K_{\text{н}}$ и $K_{\text{н.р}}$ – коэффициенты начислений на тарифную заработную плату проходчиков и накладных расходов; $C_{\text{л.г}}$ и $Z_{\text{к.г}}$ – годовая сумма прямых эксплуатационных затрат на возмещение износа (амортизации) и приведенных капитальных затрат на приобретение машин комплекса, р; $V_{\text{г}}$ – планируемые годовые объемы проходки на данный комплекс оборудования, м³; $Z_{\text{з.б}}$ – сумма прямых эксплуатационных затрат, не зависящих от принятого, варианта организации работ (затраты на материалы, сжатый воздух, электроэнергию, на ежедневную доставку горнопроходческой бригады на участок работ, на маркшейдерское обслуживание проходки, на ликвидацию породного отвала и т. п.), р/м³; $\mathcal{Q}_{\text{г.уЧ}}$ – годовой фонд рабочего времени проходчиков по принятому режиму работы, ч.

Если в каждом из действующих забоев работает комплексное проходческое звено, выполняющее последовательно все операции цикла, а закрепленное за ним оборудование постоянно находится в забое (один забой – один комплекс), то в формулах (8), (9) принимается технологически необходимая численность звена, обеспечивающая наиболее многолюдный процесс цикла (как правило, уборку горной массы, отбитой за взрыв), тогда

$$n_3 = 1, N_{\text{БР-СМ}} = \max \{N_{\text{у}}, N_{\text{б}}\}, \\ C_{\text{Т.у}}, N_{\text{Т.б}} = \sum_{r=1, N_{\text{БР-СМ}}} C_{\text{Т.р}} / N_{\text{БР-СМ}},$$

где C_r — тарифная ставка r -го проходчика, выполняющего все операции цикла и имеющего разряд не ниже допускаемого едиными нормами выработки на горнопроходческие работы для бурения шпуров ручными перфораторами, р/чел.-ч.

В случае же многозабойной организации работ со специализацией звеньев на выполнение отдельных операций цикла (один комплекс самоходного оборудования обслуживает за смену несколько забоев) численность бригадосмены равна сумме норм обслуживания бурового и погрузочно-транспортного оборудования соответствующего проходческого комплекса.

$$n_3 = 2, 3, \dots; N_{BP-CM} = N_y + N_b;$$

$$C_{T,y} = \sum_{r=1, N_y} C_{T,y,r} / N_y; C_{T,b} = \sum_{r=1, N_b} C_{T,b,r} N_b,$$

где $C_{T,b,r}$ и $C_{T,y,r}$ — тарифные ставки r -го проходчика (или горнорабочего) в звеньях бурения и уборки, управляющего соответствующим буровым или погрузочно-транспортным оборудованием и имеющего разряд, предусмотренный едиными нормами выработки для выполнения данной операции цикла, р./чел.-ч.

Выполненные оптимизационные расчеты для условий Майской и Дукатской геологоразведочной экспедиции ПГО «Севостгеология» позволили определить следующие рациональные нормативы годовых объемов проходки на один комплекс оборудования:

- 1300...1500 м (108...133 м/мес.) — для обычных комплексов с переносным бурильным оборудованием;
- 1800...2200 м (150...183 м/мес.) — для комплексов с БК СБКН-2М;
- 1700...2100 м (140...175 м/мес.) — для комплексов с переносным оборудованием и перегружателем ГТСК-12000...2500 м (167...208 м/мес.) — для комплексов с электрогидроприводом ПСК-Э (БК УБШ-211 Г, 1ШМГППН-1Э и проходческие вагоны с донным конвейером ВГЖНЭ-7).

Технологические карты многозабойной проходки горизонтальных выработок, составленные в результате проведенных оптимизационных расчетов для условий Майской геологоразведочной экспедиции (коэффициент крепости пород 14...15; средняя площадь поперечного сечения сооружаемых выработок 5,8 м и т. д.) приведены в Руководстве [9]. При работе по данным технологическим картам достигаются рациональные темпы проходки на бригаду в месяц:

- 125...145 м при работе одним забоем или 165...195 м двумя забоями для обычных комплексов оборудования (перфораторы ПП-30

(ГПП-63) на пневмоподдержках П-13 или распорных колонках ЛКР-У (УПБ-1), ППМ ППН-1с, вагонетки УВГ-1,3 и АЭ 4,5 АРП-2М), задействованных на проходке прослеживающих выработок (штреков и рассечек из них);

- 185...210 м при работе одним забоем или 245...285 м — двумя забоями для комплекса с буровой кареткой СБКН-2М (УБШ-207) и перегружателем ПСК-1, используемого при проходке прямолинейных в плане вскрывающих выработок (штолен и квершлагов).

Передовыми горнопроходческими бригадами Н.С. Нестеренко и С.В. Горбушко, применявшими данные комплексы (за исключением последнего) на этапе детальной разведки Майского золоторудного месторождения, были достигнуты рекордные для отрасли показатели:

- годовые объемы работ (за 10 мес.) на бригаду — 4638 м (464 м/мес.);
- производительность труда на одного проходчика — 19,9 м/чел.-мес.

При этом удалось на 40 % повысить коэффициент использования самоходного проходческого оборудования.

Технологические карты многозабойной проходки горизонтальных выработок, составленные в результате расчетов для условий Майской геологоразведочной экспедиции (коэффициент крепости пород 14...15; средняя площадь поперечного сечения выработок 5,8 м²), приведены в Руководстве «Проектирование и сооружение выработок разведочных горизонтов», утвержденных бывшим Мингео РСФСР.

Выводы

Оптимизационные расчеты для условий Майской и Дукатской геологоразведочных экспедиций ПГО «Севостгеология» (Магаданская область) позволили определить рациональные нормативы годовых объемов проходки для золоторудных месторождений на один комплекс оборудования.

Максимальное расстояние между смежными забоями, при котором время цикла остается постоянным и равным нормативному, не должно превышать для:

- буровой каретки при средней скорости ее транспортировки по выработкам 2,5 км/ч — 1500 м;
- породопогрузочной машины при средней скорости ее периода — 3,0 км/ч — 2100 м.

Окончательно максимальное расстояние между обслуживаемыми забоями для данного комплекса машин — не более 1500 м.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Повышение эффективности подземной разработки рудных месторождений Сибири и Дальнего Востока / А.М. Фрейдин, В.А. Шалауров, А.А. Еременко и др. — Новосибирск: Наука, 1992. — 177 с.
2. Емельянов В.К., Мамаев Ю.А., Кудлай Е.Д. Подземная разработка многолетнемерзлых россыпей. — М.: Недра, 1982. — 240 с.
3. Кудлай Е.Д., Докукин А.К., Поздняков Э.С. Применение комплексов самоходных машин на подземной разработке россыпей // Колыма. — 1987. — № 3. — С. 14–16.
4. Антонов Л.Н., Хорес В.А. Технология буровзрывных работ при проходке разведочных выработок с использованием переносных и самоходных буровых установок // Техника и технология геологоразведочных работ. Организация производства. Обзор. — М.: ВИЭМС, 1985. — 59 с.
5. Викулов М.А., Егоров И.К., Скрипник И.А., Дубинин В.П. Применение самоходного оборудования на геологоразведочных работах и охрана природы // Минеральное сырье и природа: Тез. докл. Всес. науч.-практ. конф. — Новосибирск, 1988. — С. 21–22.
6. Панкратов А.В. Перспективы использования самоходного оборудования на подземных горно-разведочных работах в условиях Северо-Востока страны // Проблемы и перспективы развития горного дела на Северо-Востоке СССР: Матер. научно-практ. семина. Ч. 2. — Якутск: ИГД Севера СО АН СССР, 1990. — С. 203–211.
7. Панкратов А.В. Повышение загрузки проходческого оборудования за счет совершенствования ведения горных работ на разведочных горизонтах (на примере золоторудных месторождений Северо-Востока): автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Томск: 1999. — 24 с.
8. Лукьянов В.Г., Панкратов А.В. Повышение фондоотдачи самоходного оборудования при многозабойном проходе разветвленных систем горизонтальных горных выработок // Вестник Российской Академии естественных наук. — 2002. — Вып. 5. — С. 223–230.
9. Лукьянов В.Г. и др. Руководство по технологии и организации скоростного проведения горизонтальных горно-разведочных выработок. — Томск: Изд-во Том. ун-та, 1984. — 189 с.

Поступило 28.04.2011 г.

УДК 621.644

ЛАБОРАТОРНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ГРУНТА, ВОЗНИКАЮЩИХ В ПРОЦЕССЕ ПРОКЛАДКИ БЕСТРАНШЕЙНОГО ТРУБОПРОВОДА

С.В. Поварницын, А.В. Рудаченко

Томский политехнический университет

E-mail: povarnit@tpu.ru

Обобщены вопросы определения перемещений грунта, возникающих в процессе прокладки бестраншейного трубопровода. Описана конструкция стенда, разработанная и сконструированная авторами для исследования силовых характеристик, определения перемещений грунта, способа прокола трубопровода в грунте. Приведены рекомендации по подготовке и последующей обработке изображения методом измерения скоростей полей деформаций.

Ключевые слова:

Метод измерения скоростей полей деформаций, горизонтально-направленное бурение, микротоннелирование, методы восстановления трубопроводов, щитовая проходка.

Key words:

Particle image velocimetry, horizontal directional drilling, microtunneling, pipe bursting, pipe jacking.

В настоящее время бестраншейные способы строительства, такие как горизонтально-направленное бурение, микротоннелирование, продавливание и прокол, получили широкое распространение во многих областях строительства, а также промышленного производства. Примерами такого использования являются: в гражданском строительстве — строительство трубопроводов и подземных коммуникаций, в нефтегазовой промышленности — строительство магистральных трубопроводов, в горном деле — сооружение горизонтальных скважин различного назначения.

Экспериментальные исследования в области восстановления трубопроводов бестраншейным способом (*pipe bursting*) проведены В. Lapos [1]. В работе обобщены силовые характеристики и деформационные процессы в грунте при восстановлении трубопровода бестраншейным способом,

сущность которого заключается в разрушении старого трубопровода специальным наконечником с одновременным затягиванием нового трубопровода. Описание деформационных процессов в грунте при прокладке бестраншейного трубопровода способом щитовой проходки (*pipe jacking*) выполнено D.N. Chapman [2] и M. Marshall [3].

Актуальность исследования заключается в повышении эффективности использования способа прокола при сооружении бестраншейного трубопровода.

Целью исследования является разработка лабораторного стенда для определения перемещений в грунте при сооружении бестраншейного трубопровода способом прокола.

Для определения перемещений в грунте использовался метод *particle image velocimetry (PIV)* [1]. Это метод измерения скоростей, который был изо-