

## РАСЧЕТНАЯ МОДЕЛЬ НАГРУЗОК ПЛЫВУННЫХ ГРУНТОВ НА ЩИТОВУЮ ЧАСТЬ ТОННЕЛЕПРОХОДСКОГО КОМПЛЕКСА

Рахманин Р.А.,

научный руководитель канд. техн. наук Ермолаев В.Л.

*Сибирский федеральный университет*

В практике подземного строительства одним из наиболее тяжелых и опасных осложняющих факторов является наличие участков плавунных грунтов.

Плывуны — это насыщенные водой грунты, которые до воздействия на них строительных работ проявляют свойства связных или сыпучих пород, а при вскрытии или динамическом воздействии приобретают свойства вязкой жидкости. В плавунное состояние могут переходить пески, супеси, лессы, суглинки, озерные илы, глины. Таким образом, плывуны — это не какой-либо определенный тип грунта, а особое состояние, характерное в определенных условиях для грунтов разных типов.

Встречи с плавунными явлениями происходят и при сооружении перегонных тоннелей метро. Так при строительстве Московского метрополитена под Краснопрудной улицей на поверхность было вынесено в 3.5 раза больше горной массы водонасыщенных песков, чем составлял объем, занимаемый ими в горной выработке. А из произошедших в последние годы аварий, связанных с плавунными явлениями, отметим наиболее значительную, случившуюся между станциями Площадь Мужества и Лесная Санкт-Петербургского метрополитена.

В современной практике тоннелестроения пересечение плавунных с предварительным замораживанием грунтов вытесняется более экономичными и производительными технологиями, основанными на применении тоннелепроходческих механизированных

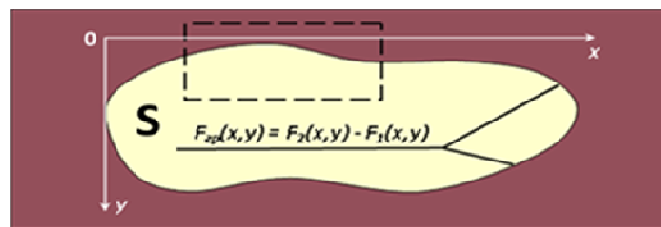
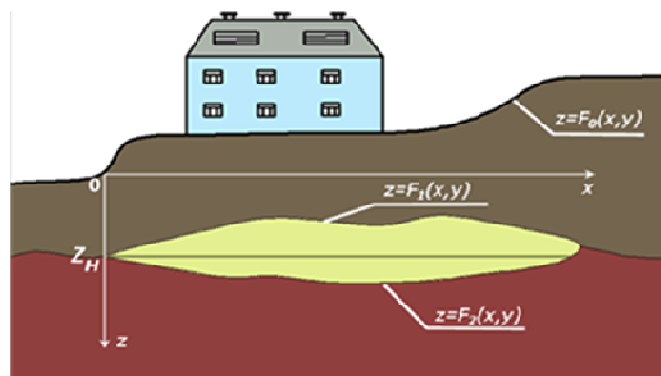


Рис. 1

комплексов с гидропригрузом забоя. Для эффективного управления комплексом необходимо надежно прогнозировать поведение плавунных грунтов после их активного перехода в состояние вязкой жидкости и оказываемые ими воздействия на щитовую часть комплекса.

Для этих целей предлагаются математические модели силового взаимодействия активизированного до подвижного состояния плавунна с вмещающими грунтами и с щитовой частью тоннелепроходческого механизированного комплекса (ТПМК).

На рис. 1 представлена схема, графически иллюстрирующая пространственное положение линзы плавунна во вмещающих грунтах. В

математической интерпретации занимаемое линзой пространство ограничено по вертикали поверхностями налегающих ( $z = F_1(x, y)$ ) и подстилающих ( $z = F_2(x, y)$ ) грунтов, а по горизонтали – площадью фигуры  $S$ , ограниченной замкнутой кривой, которая описывается неявно выраженной функцией

$$F_{zp}(x,y) = F_2(x,y) - F_1(x,y) \quad (1)$$

где  $z = F_1(x,y)$  – функция, описывающая контакт линзы пльвунов с налегающими породами;  $z = F_2(x,y)$  – функция, описывающая контакт линзы пльвунов с подстилающими породами;  $F_{zp}(x,y)$  – функция, описывающая горизонтальную проекцию внешней границы линзы пльвуна на плоскость  $xOy$ ;

Положение земной поверхности над линзой пльвуна описывается функцией

$$z = F_0(x,y) \quad (2)$$

где  $z = F_0(x,y)$  – функция, описывающая положение земной поверхности над линзой пльвунов.

Давление налегающих пород на их контакте с линзой пльвунов в точке с координатами  $(x, y)$  определяется по формуле

$$\sigma(x,y) = [F_1(x,y) - F_0(x,y)]\gamma, \quad (3)$$

где  $\sigma(x,y)$  – вертикальное давление налегающих грунтов на линзу пльвунов в точке ее верхнего контакта с текущими координатами  $(x, y)$ , Па;  $\gamma$  – объемный вес налегающих грунтов, Н/м<sup>3</sup>.

При полном переходе пльвуна в активное текучее состояние пригруз гидростатического давления от веса налегающих грунтов и поверхностной нагрузки, располагаемой на них, определяется исходя из выполнения условия:

$$p = [F_1(x_i, y_i) - F_0(x_i, y_i)]\gamma + q(x_i, y_i) - [Z_n - F_1(x_i, y_i)]\gamma_{пл} \rightarrow \max, A_i(x_i, y_i) \in S, \quad (4)$$

где  $p$  – пригруз гидростатического давления от веса налегающих грунтов и поверхностной нагрузки, располагаемой на них;  $q(x_i, y_i)$  – распределенный вес поверхностной нагрузки, находящейся на поверхности покрывающих грунтов в точке с координатами  $(x_i, y_i)$ ;  $Z_n$  – нижняя отметка на граничной поверхности линзы пльвуна и покрывающих ее грунтов;  $\gamma_{пл}$  – объемный вес пльвунного грунта, Н/м<sup>3</sup>;  $(x_i, y_i)$  – текущие координаты  $i$ -й точки  $A_i$  внутри области  $S$ .

Определив величину пригруза гидростатического давления от веса налегающих грунтов и поверхностной нагрузки, не составляет труда определить действующее гидростатическое давление на любой отметке линзы пльвунного грунта:

$$P = p + (z - Z_{min})\gamma_{пл}, \quad Z_{min} \leq z \leq Z_{max}, \quad (5)$$

где  $P$  – действующее гидростатическое давление, Па;  $Z_{min}$  – верхняя отметка на граничной поверхности линзы пльвуна и покрывающих ее грунтов;  $Z_{max}$  – нижняя отметка на граничной поверхности линзы пльвуна и подстилающих ее грунтов.

Ниже представлена система неравенств и уравнений (6÷11), включающая в числе прочих и расчетные формулы для определения численных значений нагрузок на щит. Неравенство (6) определяет интервал отметок точек замера гидростатического давления пльвунных грунтов на щит комплекса. Уравнения (7, 8) в параметрической форме увязывают аппликаты и ординаты точек замера давления грунтов с нормальным направлением действия нагрузки на цилиндрическую поверхность щита. Уравнения (10, 11) позволяют выделить вертикальную и горизонтальную составляющие нормального давления, а по формуле (12) рассчитываются текущие значения удельной нагрузки, действующей по вертикальной оси щита, Н/м.

$$\left\{ \begin{array}{l} z_c \leq z \leq z_{oc} + D; \quad (6) \\ z = z_c + \frac{D}{2}(1 - \sin\beta); \quad (7) \\ y = \frac{D}{2} \cdot \cos\beta; \quad (8) \\ P_\phi = P_H = P = p + (z - Z_{min})\gamma_{плл}; \quad (9) \\ P_E = P_H \cdot \sin\beta; \quad (10) \\ P_T = P_H \cdot \cos\beta, \quad (11) \\ q = 2 \cdot P_\phi \cdot y, \quad (12) \end{array} \right.$$

где  $z_c$  – отметка вершины свода тоннеля по оси Oz, м;  $z_{oc}$  – нижняя отметка обратного свода тоннеля, м;  $D$  – внешний диаметр щита, м;  $\beta$  –угловая координата положения точки замера гидростатического давления на боковой поверхности щита, рад.;  $P_H$  – гидростатическое давление на боковой поверхности щита, Па;  $P_E$  – вертикальная составляющая гидростатического давления действующая в точки замера давления, Па;  $P_T$  – горизонтальная составляющая гидростатического давления, действующая в точки замера давления, Па;

На рис.2 представлена эпюра изменения фронтального давления пльвуна  $P_\phi$  на ротор ТПК (1), эпюра изменения удельной нагрузки, действующей по вертикальной оси щита (2), а также эпюры действующих давлений пльвуна в своде (3) и в обратном своде (4) тоннеля.

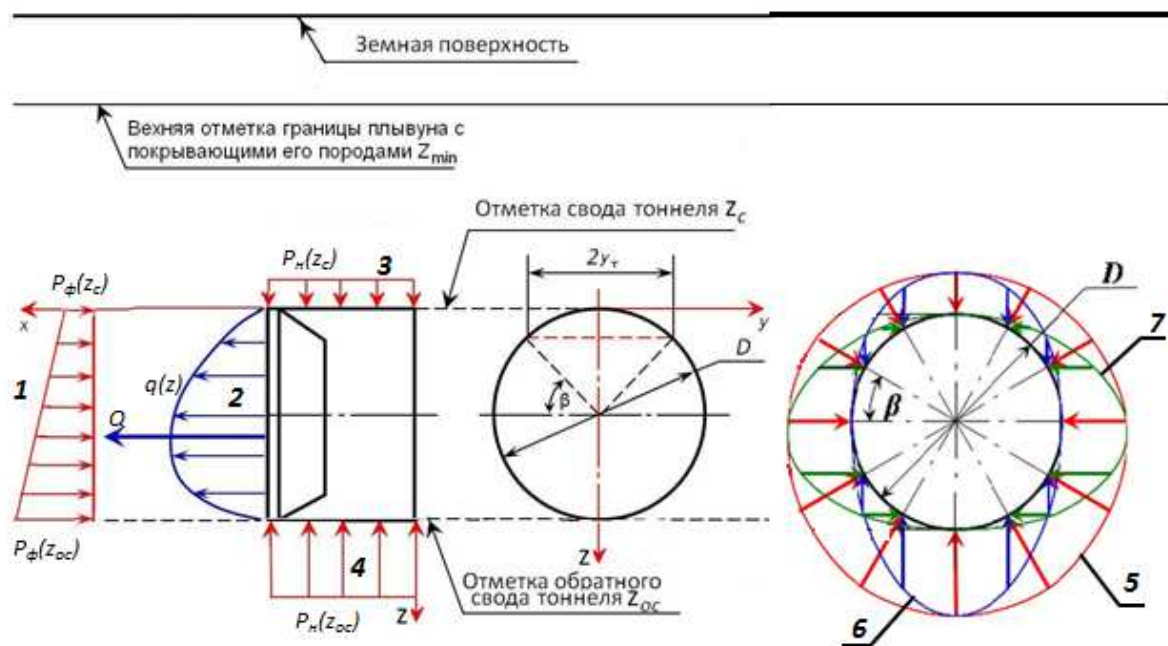


Рис.2

В правой части рис.2 представлены эпюры изменения гидростатического давления пльвуна, действие которого направлено нормально к цилиндрической поверхности щита (5), а также эпюры изменения вертикальной (6) и горизонтальной (7) составляющих нормального давления.

Представленная расчетная модель нагрузок пльвунных грунтов на щитовую часть тоннелепроходческого комплекса будет использована в качестве подсистемы разрабатываемой модели для прогнозирования и анализа производственных ситуаций при работе комплексов в широком спектре инженерно-геологических условий строительства, в том числе в забоях со смешанными грунтами.