

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РАБОЧЕГО ОРГАНА УПЛОТНЯЮЩЕЙ МАШИНЫ С ГРУНТОМ**MATHEMATICAL MODEL OF PROCESS OF INTERACTION OF WORKING BODY OF THE SEALING MACHINE WITH THE GROUND**

Макалада тыгыздоочу органды ныктоодо жана алып чыгууда топурактын серпилгичтигин эске алуу менен математикалык моделин топтоонун жыйынтыгы келтирилген. Берилген математикалык модель жумушчу органды чөгөрүүдө жана алып чыгууда анын конструктивдик параметрлерин жана тыгыздалган топурактын касиетин эске алуу менен каршылык күчтөрдү аныктоого шарт түзөт.

***Ачкыч сөздөр:** жумушчу жабдык, математикалык модел, топуракты тыгыздоо, пластикалык деформация, нормалдуу жана жаныма чыңалуу.*

В статье приведены основные результаты формулирования математической модели в процессе погружения уплотняющего органа и его извлечения с учетом упругих свойств грунта. Данная математическая модель позволяет определить силы сопротивления нагружению и извлечению рабочего органа с учетом конструктивных его параметров и свойств уплотняемого грунта.

***Ключевые слова:** рабочее оборудование, математическая модель, уплотнение грунта, пластическая деформация, напряжения нормальные и касательные.*

The article presents the main results of the formulation of the mathematical model in the process of immersing the seal body and its recovery, taking into account the elastic properties of the soil. This mathematical model to determine the drag force loading and retrieval of working body, taking into account the soil compacted design its parameters and properties.

***Keywords:** business equipment, mathematical model, soil compaction, plastic deformation, stress normal and tangential.*

Одним из перспективных направлений в развитии современного фундаментостроения является применение свайных фундаментов в уплотняемых грунтах и, в частности, набивных свай в пробитых скважинах и фундаментов в вытрамбованных котлованах /1/. Одновременное сочетание устройства скважины и уплотнения грунта обеспечивает существенное снижение затрат по сравнению с обычно применяемыми решениями. Внедрение таких фундаментов в уплотненных грунтах в практику строительства сдерживается из-за отсутствия научно-обоснованной технологии работ и соответствующего ей грунтоуплотняющего оборудования.

Применение грунтовых свай основано на том, что при механическом трамбовании природная макропористая структура грунта полностью разрушается и он становится практически непросадочным. Одновременно вследствие вытеснения грунта в стороны при проходке скважины и набивке ее грунтом происходит уплотнение грунта вокруг свай. По окончании работ по уплотнению грунта грунтовыми сваями они вместе с уплотненным грунтом образуют сплошное искусственное основание.

Известны два основных способа образования скважины под набивные сваи: бурение с извлечением разрушенного грунта и проходка скважины без выемки грунта методом уплотнения. При первом способе применяют вращательное, ударное,

виброударное бурение, при втором – пробивку скважин штампами различной формы, продавливание или их раскатывание.

Уплотнение грунта с целью повышения его прочностных и деформационных характеристик получило широкое его применение при устройстве коротких свай и фундаментов мелко заложения. Набивные сваи, изготовленные в скважинах, полученные методом уплотнения имеют несущую способность более высокую, чем в скважинах, образованных обычными методами бурения с экскавацией грунта /2/. Увеличение несущей способности грунтов в их основании повышается за счет уплотнения при погружении рабочего органа РО. В связи с изложенным, актуальной является задача выбора рационального типа оборудования, обеспечивающего проходку скважин в различных грунтовых условиях методом уплотнения.

По способу проходки скважин оборудование разделяют на 5 групп /3/ :

- оборудование для проходки скважин методом завинчивания;
- оборудование, осуществляющее вдавливание РО;
- оборудование, для проходки скважин способом раскатывания грунта;
- оборудование, осуществляющее динамическое воздействие РО на грунт (пробивка);
- комбинированное оборудование.

Наибольшее распространение получает оборудование, связанное с вдавливанием или пробивкой РО в грунт. Возможны различные варианты исполнения конструкции РО машины. Предлагаемый нами вариант конструкции РО отличается от традиционных штампов, выполняемых в виде цилиндрического тела с тупым или заостренным коническим концом или в виде усеченного клина с прямоугольным или круглым сечением в плане тем, что имеет упругий элемент, способствующий снижению сил сопротивления при извлечении РО из грунтового массива.

Рассмотрим последовательно рабочие процессы динамического погружения уплотняющего органа и его извлечения с учетом упругих свойств грунта и элементов самой конструкции РО. С точки зрения теории упругости, при вдавливании РО в грунт, как анизотропное полупространство, устанавливается сложная связь между компонентами деформации и напряжения /3/. Из большого числа зависимостей между погружением штампа в грунт и давлением, используемых для описания процесса, следует выбрать одну. Такой зависимостью может служить:

$$\sigma = c_1 x^\mu \quad (1)$$

где σ – напряжение на контактной поверхности грунта; x – деформация грунта по радиусу скважины; c_1 – коэффициент общей деформации грунта; μ - показатель степени, характеризующий процесс деформации.

По сравнению с другими формулами в выражении (1), неравномерность грунтовых условий привлекает своей простотой и тем, что с большой точностью описывает процесс. Кроме того, большой экспериментальный материал, накопленный по определению экспериментальных коэффициентов, позволяет использовать выражение (1) для всех видов грунтов. На основании этого, воспользуемся приведенной зависимостью для исследования процессавзаимодействия предлагаемого РО с грунтом.

При сбрасывании РО происходит пластическая деформация грунта, вследствие которой достигается уплотнение, происходит в результате внедрения уплотняющего органа о массив грунта. Расчетная схема предлагаемого рабочего органа приведена на рис. 1.

Предположим, что после каждого удара о грунт РО перемещается в массив, преодолевая при этом сопротивление со стороны грунта. При этом со стороны грунта возникают силы лобового сопротивления, состоящие из сил реакции грунта уплотнению и сил трения, действующие на боковые поверхности конической части наконечника и

корпуса, обусловленные нормальным давлением сил упругости, возникающих при уплотнении массива грунта и сжатия пружин между наконечником и корпусом. Сила сопротивления внедрению штампа определяется из условия статического равновесия системы «рабочий орган - грунт»:

$$P_{вн} = P_{вн}^к + P_{вн}^н - G + F_{упр} \quad (2)$$

где G – сила тяжести рабочего органа; $P_{вн}^к$ – сила сопротивления внедрению корпуса рабочего оборудования; $P_{вн}^н$ – сила лобового сопротивления внедрению наконечника; $F_{упр}$ – сила сжатия упругого элемента.

Нормальные и касательные напряжения на поверхности контакта, возникающие в результате сжатия грунта в стороны по отношению к оси внедрению РО, связаны между собой следующей зависимостью:

$$\sigma_{\tau} = f \sigma_n \quad (3)$$

где f – коэффициент трения скольжения поверхности РО по грунту.

Определив по значениям нормального и касательного напряжений результирующее напряжение, разложив последнюю на составляющие по координатным осям, а также заменив коэффициент f коэффициентом внутреннего трения грунта по грунту, т.е. $f = \text{tg} \varphi$, где φ – угол внутреннего трения, после несложных преобразований получим формулу для определения напряжения в грунте

$$\sigma_n = \frac{C1 X^{\mu} \cos \varphi}{\cos(\varphi + \beta)} \quad (4)$$

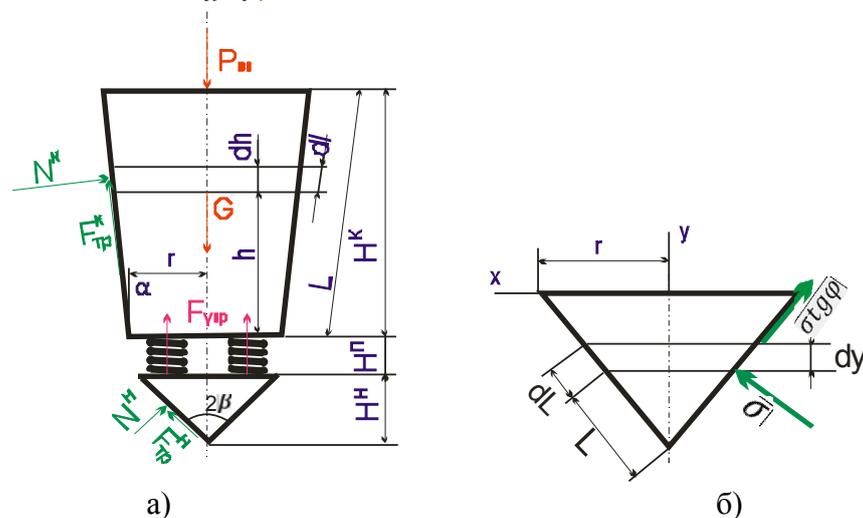


Рис.1. Расчетная схема грунтоуплотняющего органа

При погружении РО в грунт на каждый из его элементов (наконечник и корпус) противодействует реакция уплотняемого грунта N_i , нормальная к их поверхности и соответствующие им силы трения F_i , вызванные наличием сил реакции в процессе движения РО:

$$F_i = N_i \text{tg} \varphi \quad (5)$$

Определим эти силы применительно к каждому элементу РО уплотняющей машины. Сила реакции уплотнения грунта пропорциональна площади контакта с грунтом поверхности РО и нормальному напряжению или давлению со стороны грунта по конкретному элементу РО уплотняющей машины.

Площадь поверхности конического наконечника, при известном радиусе его основания и угла β при вершине определяем следующим образом. В соответствии с данными, приведенными на рис.1.б. элементарная площадь конуса равна $dS = \frac{2\pi r dr}{\sin\beta}$. Проинтегрировав это выражение в пределах 0 до r получим окончательно формулу:

$$S^H = \frac{\pi r^2}{\sin\beta} \quad (6)$$

Полную нормальную реакцию грунта находим по зависимости:

$$N^H = \sigma_n S^H = \frac{2\pi(r^2+r^\mu)C_1 \cos\varphi}{3\sin\beta \cos(\varphi+\beta)} \quad (7)$$

При внедрении этого элемента в грунт совершается работа по раздвиганию грунта в стороны и по преодолению сил трения по боковой поверхности наконечника. Эти два процесса происходят одновременно и взаимосвязаны между собой. Поэтому сопротивление грунта в этом случае складывается из двух составляющих. Это проекции нормальных и касательных сил сопротивления на ось движения, они взаимосвязаны между собой и выражаются формулами:

$$P_{вн}^H = N_y^H + F_y^H \quad (8)$$

где

$$N_y = N^H \sin\beta \quad (9) \quad F_y = F^H \cos\beta = N^H \operatorname{tg}\varphi \cos\beta \quad (10)$$

Подставляя (9) и (10) в (8) с учетом формулы (7) получим следующую формулу:

$$P_{вн}^H = \frac{2\pi(r^2+r^\mu)C_1}{3\sin\beta} \operatorname{tg}(\varphi + \beta) \quad (11)$$

Аналогично определяем силу внедрения корпуса РО в массив грунта

$$P_{вн}^K = \frac{2\pi C_1 H \operatorname{tg}(\varphi+\alpha) C_1}{\cos\alpha} (r^{(R+\mu)} + r^\mu \operatorname{tg}\alpha + \frac{H^2 \operatorname{tg}^2 \alpha}{3}) \quad (12)$$

Суммируя выражения в формулах (11) и (12) получим следующую зависимость

$$P_{вн} = P_{вн}^H + P_{вн}^K - G + C_\Sigma h_{сж} \quad (13)$$

или в обобщенном виде

$$P_{вн} = \frac{2\pi(r^2+r^\mu)C_1}{3\sin\beta} \operatorname{tg}(\varphi + \beta) + \frac{2\pi C_1 H \operatorname{tg}(\varphi+\alpha) C_1}{\cos\alpha} (r^{(R+\mu)} + r^\mu \operatorname{tg}\alpha + \frac{H^2 \operatorname{tg}^2 \alpha}{3}) - mG + C_\Sigma h_{сж} \quad (14)$$

где C_Σ – суммарная жесткость пружин между элементами РО уплотняющей машины; $h_{сж}$ – величина сжатия пружины при внедрении РО в грунт.

Список литературы

1. Баловнев В.И. Моделирование процессов взаимодействия со средой рабочих органов дорожно-строительных машин [Текст] / В.И.Баловнев. – М.: Высшая школа. 1981.- 335 с.
2. Крутов В.И. Устройство фундаментов: к прогрессу механизации работ [Текст] / В.И.Крутов, А.С.Ковалев // Механизация строительства, 1988. - № 11. – с. 10-11.
3. Пономаренко Ю.Е. Повышение эффективности устройства свайных фундаментов в уплотняемых грунтах [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.dissercat.com/content/povyshenie-effektivnosti-ustroistva-svainykh-fundamentov-v-uplotnyaemykh-gruntakh>