

УДК 622.233.3

Характеристика процесса статико-динамического формирования кротовины

Лазуткин С.Л., Лазуткина Н.А.

Приведено обоснование количественной оценки рационального рабочего процесса машины с активным рабочим органом для формирования горизонтальных скважин в связных грунтах.

Ключевые слова: беструбчатый дренаж, кротовина, плотность грунта, тиксотропное разупрочнение, статико-динамическое нагружение, показатель статического воздействия.

Введение

Анализ способов создания беструбчатого дренажа [1,2] позволяет утверждать, что в при имеющемся разнообразии конструкций машин и технологий, с помощью которых можно решать поставленные задачи, выявленные недостатки обуславливают возможность дальнейшего развития и совершенствования конструкции грунтопроходческой техники. Поэтому разработка теоретических предпосылок к созданию конструкции рабочего органа статико-динамического действия с учетом свойств обрабатываемой среды [3,4] следует считать актуальной задачей.

Результаты анализа строения и физико-механических свойств грунта и взаимодействия с ним инструмента рабочего органа [5,6,7,8] показывает, что плотность грунта в стенках кротовин будет зависеть от соотношения величины пластических деформаций, названных статическим и динамическим нагружением.

В этом смысле возможны разновидности режимов статико-динамического нагружения, а именно поджатие инструмента к грунтовому массиву в пределах упругих деформаций до удара, и послеударное статическое нагружение в пределах упруго-пластических деформаций. Доля упруго-пластических деформаций от указанных нагрузок за один цикл работы ударного устройства будет различна. Это зависит от физико-механических свойств грунта, геометрии рабочего органа, выходных параметров ударного устройства и скорости передвижения базовой машины. При условии

постоянства геометрических параметров инструмента активное влияние на изменение плотности грунта будут оказывать энергия, частота приложения ударной нагрузки и скорость перемещения базовой машины.

Характеристика процесса формирования кротовины

Динамическое внедрение инструмента в грунт сопровождается тиксотропным разупрочнением последнего. В таком состоянии грунта уменьшаются его вязкостные свойства, что обуславливает повышенную деформативную способность. Поэтому при последующем статическом проколе тиксотропной разупрочненной зоны реализуется большая часть пластических деформаций. Тем более, что контактные напряжения будут формироваться инструментом с геометрией, обеспечивающей их максимальное значение.

Взаимодействие конического инструмента с грунтом сопровождается образованием перед его конической частью уплотненного ядра, из которого затем происходит формирование собственно стенки кротовины. Плотность грунта в стенках кротовины, обуславливается состоянием грунтового полупространства в непосредственной близости от инструмента, которое соответствует наибольшим контактными напряжениям. Поэтому при взаимном перемещении твердых частиц грунта в зоне уплотненного ядра водно-коллоидные пленки рыхлосвязанной воды будут испытывать наибольшие нагрузки. Это приведет к тому, что относительно большее количество сво-

бодной воды будет «выжиматься» из зоны уплотненного ядра. Вместе с тем в точках наибольших напряжений водно-коллоидные пленки рыхлосвязной воды интенсивно уменьшается, а в точках с меньшими напряжениями их толщины увеличиваются [9,10]. Таким образом, перед динамическим взаимодействием грунт будет «подготовлен» к тиксотропному разупрочнению. Справедливость этих выводов подтверждается исследованиями Н.Я. Хархуты [11], Е.А. Вознесенского [12], которыми установлено, что предварительное статическое нагружение грунта способствует тиксотропному разупрочнению при последующем вибрационном или импульсном нагружении.

Поскольку тиксотропные процессы накладывают определенные временные ограничения на характер взаимодействия инструмента с грунтом, то на режим нагружения грунта будет оказывать большое влияние частота приложения нагрузки. Это объясняется тем, что по прекращении действия нагрузки начинается процесс восстановления нарушенных водно-коллоидных связей. Поэтому при определенной скорости осевой подачи рабочего органа необходимо обеспечивать соответствующую частоту ударов. При этом величина статического прокола после удара не должна превышать размеров тиксотропно разупрочненной зоны за время нахождения грунта в этом состоянии. Превышение этого предела приведет к трансформации статико-динамического формирования стенок кротовины в поочередное приложение статики и динамики. Это выразится в падении плотности грунта в стенках кротовины. Аналогичное явление будет наблюдаться при относительном увеличении доли динамики за цикл. В этом случае происходит динамическое воздействие.

Таким образом, скорость осевой подачи инструмента в забой, определяемая скоростью перемещения базовой машины, влияет

на процесс формирования стенок кротовины при статико-динамическом режиме нагружения грунта и его конечную плотность. Причем, наибольшая плотность может быть получена при условии, когда за время цикла работы ударного устройства происходит процесс прокола тиксотропно разупрочненной зоны и статическое нагружение грунтового полупространства, подготавливающее грунт к следующему удару. Графическая интерпретация этих выводов может быть представлена в следующем виде (рис.1).

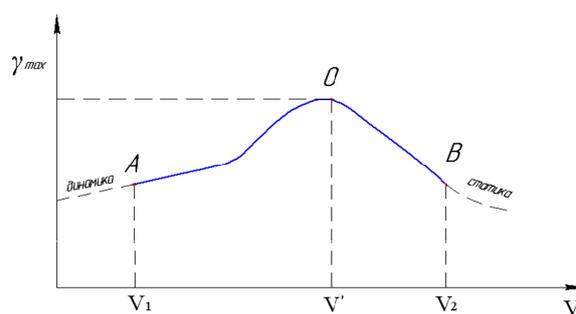


Рис. 1. Изменение плотности грунта в стенках кротовины от действительной скорости базовой машины: V_1 – критическая скорость при динамике; V_2 – критическая скорость при статико-динамике; V' – скорость, соответствующая получению максимальной плотности грунта в стенках кротовины

Пусть участок кривой АОВ соответствует диапазону скоростей, в котором наблюдается статико-динамическое формирование. При скорости, меньше значения V_1 , (кривая, левее точки А) – зона динамики, значения скорости, больше V_2 (кривая, правее точки В), соответствуют преобладанию статике в процессе.

Участок кривой АО соответствует диапазону скоростей, отражающих различный характер статического поджатия, видоизменяющегося в зависимости от величины статического внедрения (в пределах упругих и упруго-пластических деформаций). При таких скоростях базовой машины происходит процесс предударного статического нагружения до величин напряжений, близких к пределу прочности грунта. Затем наносится удар и грунт деформируется за счет суммарных

напряжений, возникающих в точках контакта инструмента с грунтом. Увеличение скорости осевой подачи инструмента приводит к тому, что за время между ударами инструмент начинает статически нагружать грунт в пределах упруго-пластических деформаций, прокладывая тиксотропно разупрочненную зону и подготавливая грунтовое полупространство к следующему удару (скорость V'). Поскольку абсолютно точно такие скорости определить невозможно, то целесообразно определить некоторый скоростной диапазон, при котором будет формироваться кротовина с наиболее плотными стенками. Участок кривой ОВ соответствует скоростям базовой машины, при которых статико-динамическое нагружение постепенно трансформируется в процессе поочередного статического и динамического воздействия инструмента на грунт.

Обоснование рационализации взаимосвязи выходных параметров ударного устройства и базовой машины требует количественной оценки рассматриваемого процесса. В этой связи было бы целесообразным ввести количественный показатель, по которому можно было бы судить о характере наблюдаемого явления. При определении данной зависимости в качестве исходного было принято известное условие динамического формирования кротовин [7]:

$$V_{Б.М.} \leq n \cdot X_{дин} \leq \frac{1}{T_{ц}} \cdot X_{дин} \quad (1)$$

где $V_{Б.М.}$ – скорость перемещения базовой машины; $n, T_{ц}$ – частота ударов и время цикла работы гидравлического ударного устройства.

Очевидно, что в случае строгого равенства левой и правой частей выражения (1) будет определяться максимальная скорость движения базовой машины, при которой осуществляется динамическое формирование кротовины. Примем ее за критическую скорость динамического формирования, $V1$ (рис 1). Увеличение скорости базовой машины видоизменяет процесс, добавляя элемент статиче-

ского воздействия. С учетом времени наступления тиксотропного разупрочнения и его продолжительности, условие статико-динамического формирования кротовины примет вид:

$$t_{ст} \leq T_{микс} + \Delta t_{микс}, \quad (2)$$

где $t_{ст}$ – время статического нагружения; $T_{микс}$ – время нахождения грунта в тиксотропно разупрочненном состоянии;

$\Delta t_{микс}$ – по данным ряда исследователей время запаздывания момента наступления этого состояния грунта для динамического нагружения с $\Delta t_{микс} = 0$ [9,10,11,12].

С другой стороны время статического нагружения не должно превышать времени цикла ударного устройства:

$$t_{ст} \leq T_{цикла}, \quad (3)$$

Если принять, что $t_{ст} = T_{цикла}$, то

$$T_{цикла} \leq T_{микс}, \quad (4)$$

Из выражения (4) видно, что частота приложения динамической нагрузки должна обеспечивать условия, при которых статическое нагружение будет осуществляться в момент нахождения грунта в состоянии тиксотропного разупрочнения.

Если принять скорость осевой подачи инструмента в забой за постоянную величину, то условие (2) можно записать в виде:

$$X_{ст} \leq X_{микс}, \quad (5)$$

где $X_{ст}$ – величина статического внедрения за один цикл работы ударного устройства; $X_{микс}$ – длина зоны тиксотропного разупрочнения.

Таким образом, для получения наилучшего эффекта уплотнения грунта величина статического внедрения, определяемая скоростью базовой машины, не должна превышать размеров тиксотропной зоны. В соответствии с этим, нарушение условия (5) приведет к относительному падению плотности грунта в стенках кротовины.

За количественный показатель процесса целесообразно принять показатель, учитывающий относительную долю статического воздействия за цикл:

$$K_{cm} = \frac{X_{cm}}{X_{cm} + X_{дин}}, \quad (6)$$

где K_{cm} – показатель статического воздействия; $X_{дин}$ – единичное динамическое внедрение инструмента.

Анализируя выражение (6), имеем следующее: пусть $X_{cm} = 0$, т.е. в процессе работы не происходит статического поджатия, тогда $K_{cm} = 0$, т.е. процесс динамический. Если скорость осевой подачи рабочего органа такова, что единичное ударное внедрение инструмента не влияет на весь процесс, так как этой воздействию компенсируется величиной статического внедрения, тогда $K_{cm} \rightarrow 1$, т.е. процесс с преобладанием статического воздействия. Значение X_{cm} и $X_{дин}$ в данном случае определяются прочностными характеристиками грунта и в этом смысле показатель K_{cm} характеризует процесс нагружения грунта с позиции рассмотрения его физико-механических свойств. Однако при реализации заданного режима нагружения в процессе формирования кротовины целесообразнее осуществлять контроль за выходными параметрами базовой машины и гидравлического ударного устройства. Поэтому представляет интерес представление показателя K_{cm} как характеристики процесса с точки зрения выходных параметров машины в целом. Рассмотрим работу кротодренажной машины как процесс относительного движения тела в подвижной системе координат (рис. 2), при этом за неподвижную систему координат XOY примем грунт, за подвижную систему координат $X'O'Y'$ – базовую машину, тело – инструмент рабочего органа. При установившемся движении базовой машины за время внедрения инструмента на величину $X_{дин}$ (рис. 2) относительно неподвижной системы координат XOY , сама базовая машина (система $X'O'Y'$) переместится на величину, равную:

$$\Delta X = V_{б.м} \cdot T_{уд}, \quad (7)$$

где $T_{уд}$ – время передачи энергии удара от бойка к инструменту.

Так как $T_{уд}$ несоизмеримо мало по сравнению со временем цикла, то величиной ΔX можно пренебречь. Затем, по окончании процесса динамического внедрения скорость инструмента относительно грунта (XOY) становится равной нулю. При этом за время, необходимое для взвода и разгона бойка для нанесения по инструменту последующего удара, базовая машина перемещается на величину $X_{дин}$ и, воздействуя на инструмент через корпус дренера, внедряет его на величину X_{cm} . После этого по инструменту наносится следующий удар и цикл повторяется.

Таким образом, общее перемещение инструмента относительно грунта определяется:

$$\sum X = V_{б.м} \cdot T_{цикла}, \quad (8)$$

Отсюда

$$X_{cm} = \sum X - X_{дин} = V_{б.м} \cdot T_{цикла} - X_{дин}, \quad (9)$$

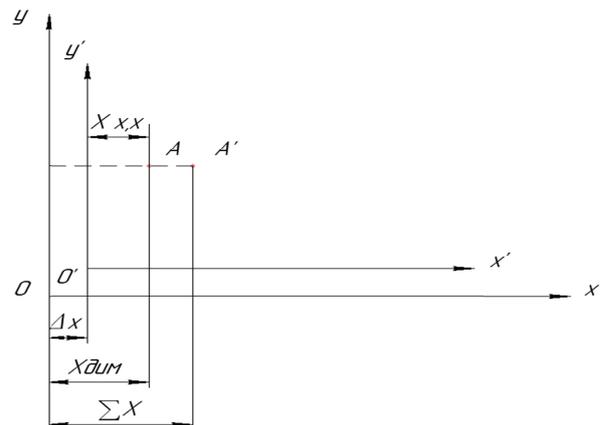


Рис. 2. Схема к определению показателя статического воздействия K_{cm} .

ΔX – перемещение базовой машины за время ударного внедрения инструмента в грунт; $X_{дин}$ – динамическое внедрение инструмента; $xx.x$ – перемещение базовой машины за время взвода-разгона бойка ударного устройства; ΣX – общее перемещение инструмента; $XOY, X'O'Y'$ – неподвижная и подвижная системы координат.

Тогда формула (7) может быть представлена в следующем виде:

$$K_{cm} = 1 - \frac{X_{дин}}{V_{б.м} \cdot T_{цикла}}, \quad (10)$$

Учитывая, что $T_{цикла} = 1 / \text{пуу}$:

$$V_{б.м} = \text{пуу} \cdot X_{дин} / (1 - K_{cm}), \quad (11)$$

Заключение

Формулы (10) и (11) показывают, что характеристика процесса статико-динамического формирования кротовины может быть получена с учетом прочностных свойств грунта, геометрии инструмента, скоростных и энергетических показателей базовой машины и ударного механизма. Причем, при обобщенных размерах и форме инструмента и задании свойств грунта в качестве исходного для исследований $K_{ст}$ приобретает более узкое и конкретное смысловое значение для определения скорости перемещения базовой машины.

Литература

1. *Абрамов С.К.* Подземный дренаж в промышленном и городском строительстве. М.: Стойиздат, 1967. 239 с.
2. *Домин Е.Д.* Бестраншейное строительство закрытого дренажа. - М.: Колос, 1981. 240 с.
3. *Лазуткина Н.А., Лазуткин С.Л.* Комплексное представление системы «машина-обрабатываемый материал»/Вестник Пермского ГТУ.- Пермь том 13, №2. 2011.-С.40-47.
4. *Лазуткин С.Л., Лазуткина Н.А.* Обоснование параметров ударной системы адаптивного ударного устройства // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности, 2011, № 1 (8). С. 59-63.

5. *Орлов В.Б.* Исследование взаимодействия с грунтом конических штампов для образования горизонтальных скважин: Автореф. дисс. канд.техн.и.аук. Киев, 1975. 24 с.

6. *Тимкин А.Ф.* Разработка к определению параметров гидропневмоударного навесного копрового оборудования для обустройства автомобильных дорог: Дисс. канд.техн.и.аук. Караганда, 1985, 215 с.

7. *Вернер А.О.* Создание и исследование навесного гидропневмоударного оборудования для бестраншейной прокладки дренажа и подземных коммуникаций: Дисс. канд.техн.и.аук. Караганда, 1984. 283 с.

8. *Вазетдинов А.С.* Исследование методов и оборудования подземной проходки при прокладке труб для кабелей связи; Дисс. канд. техн.и.аук. М., 1959. 215 с.

9. *Фрейндлих Г.* Тиксотропия. - М.: ГОНТИ, 1939. 47 с

10. *Цытович Н.А.* Механика грунтов. - М.: Высшая школа, 1983. 287 с.

11. *Хархута Н.Я.* Тиксотропные процессы в грунтах при ударных и вибрационных воздействиях // Тр. СоюзДорНИИ. Вып.48. - М. 1971, 37 с.

12. *Гуменский Б.М.* Основы физикохимии глинистых грунтов и их использование в строительстве. - М.-Л.: Стройиздат, 1965. 213 с.

Статья поступила в редакцию 27 марта 2012 г.

In this paper we present the rationale for quantitative evaluation of workflow management machine with an active working body for the formation of horizontal wells in cohesive soils.

Keywords: drainage, molehill, soil density, thixotropic softening, static and dynamic loading, rate of static exposure.

Лазуткин Сергей Леонидович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения» Муромского института (филиала) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»

Лазуткина Наталья Александровна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Техносферная безопасность» Муромского института (филиала) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»