при $V = const$ $\frac{d^2 y_0}{dt^2} = 0$ и данное выражение превращается в выражение (10).

Для определения динамической реакции балки Q_0 и ее изгиба y_0 необходимо задаться законом изменения ускорения покрытия в функции от времени t. Последний может быть получен экспериментальным или аналитическим путем.

Литература

1. Медников И.А. Изгиб бесконечно-длинной упруго-вязкой балки на упруго-вязком основании при движении сосредоточенного груза // Труды / МАДИ. – М.: 1969.
2. Котляр В.И. К расчету динамических прогибов цементогрунтового покрытия лесовозных дорог // Труды / ЦНИИМЭ: Химки, 1970.

ОСОБЕННОСТИ ДЕФОРМАЦИИ ГРУНТА ГУСЕНИЧНЫМИ ТРЕЛЕВОЧНЫМИ ТРАКТОРАМИ

Д.В. АКИНИН, *ст. преподаватель кафедры электроэнергетики лесных комплексов МГУЛа*

Особенности работы трелевочных тракторов, заключающиеся в переезде пней, поваленных деревьев и преодолении других пороговых препятствий, вынуждает оснащать движители мелкозвенчатыми гусеницами, опорными катками большого диаметра, поднимать направляющие и ведущие колеса. К сожалению, положительное качество таких ходовых аппаратов, т.е. способность плавно огибать препятствия, сказывается отрицательно на опорных свойствах тракторов. Прогибаясь под нагрузкой опорных катков, мелкозвенчатые гусеницы неравномерно нагружают опорный массив и под катками происходит концентрация сжимающих напряжений в значительном объеме грунта. Результаты измерения давления гусениц на грунт [1] показывают (рис. 1), что давление в основном создают только те звенья, которые в данный момент времени находятся под осями опорных катков и часть поверхности звеньев примыкающих к ним.

Анализ результатов измерения давления гусениц трактора ТДТ-55 по длине контактной поверхности в зависимости от влажности суглинка, скорости движения и усилия на крюке [1, 2] показывает, что в передаче нагрузки участвует основное звено и примерно 1/3 площади примыкающих звеньев

$$l = t + \frac{2}{3}t \approx 1{,}7t,$$

где l – длина активно-опорного участка гусеницы; t – шаг звена.

При увеличении нагрузок на катки или при увеличении влажности растет деформация суглинка, звенья, находящиеся под катками, глубже погружаются и давление начинают передавать большее число звеньев, находящихся между катками. Давление активно-опорных участков гусениц уменьшается, но растет объем находящегося в напряженном состоянии грунта.

Выделяя элементарный объем грунта на пути движения трактора, и рассматривая процесс деформации грунта, нетрудно заметить, что в результате воздействия активно-опорных катков в этом объеме будет происходить последовательное уплотнение и разуплотнение грунта, что сопровождается увеличением глубины колеи. Процесс образования колеи при наличии пиковой неравномерности распределения давления представим в виде последовательного нагружения грунта идущими друг за другом тракторами и оказывающими такое же воздействие на грунт, как и активно-опорные участки гусеницы.

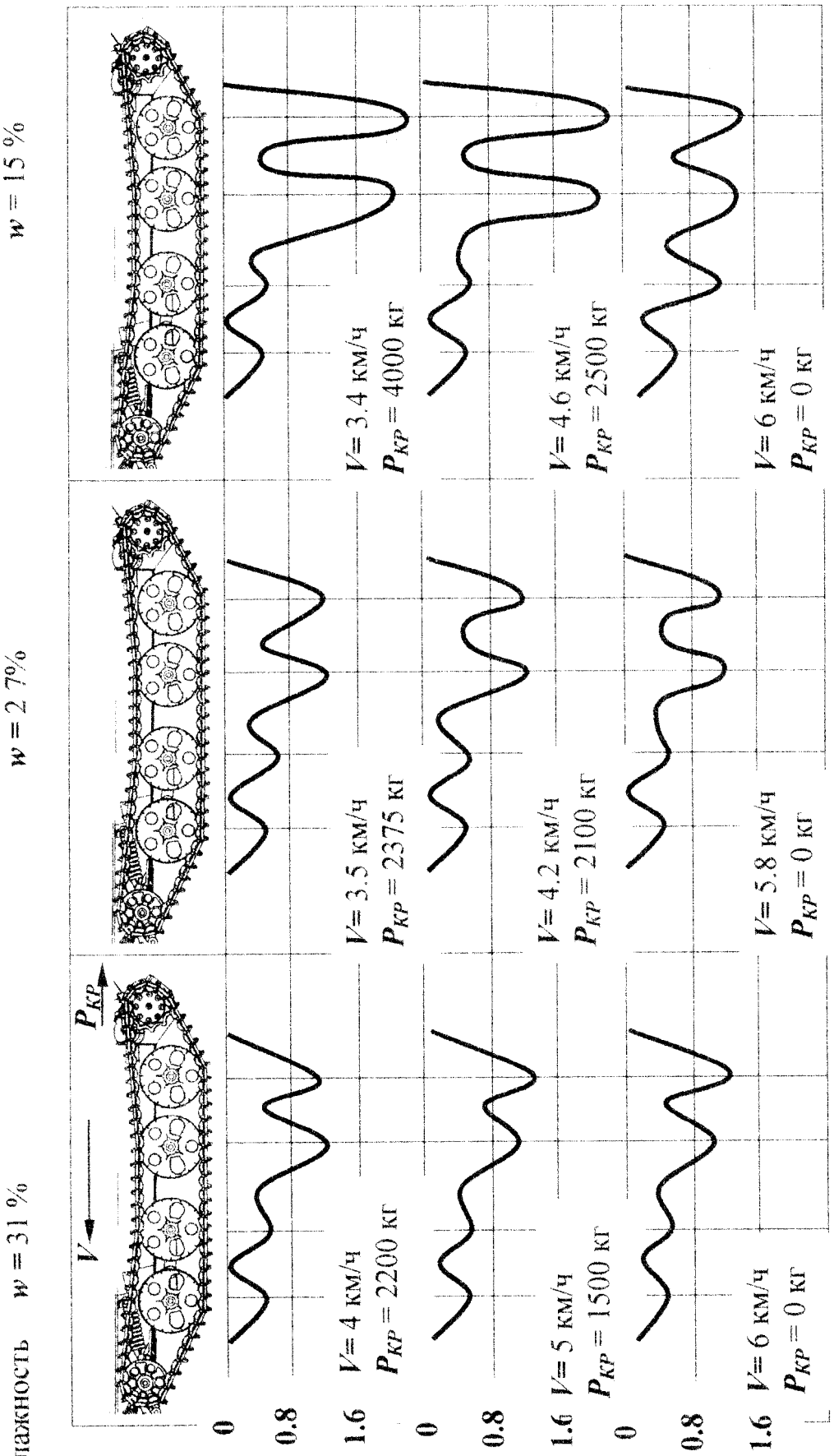


Рис. 1. Распределение давления по длине опорной поверхности в зависимости от влажности, скорости движения и усилия на крюке

Пока нагрузки на катки малы или трелевка происходит по достаточно твердому грунту, давление на опорный массив, как было отмечено выше, оказывают примерно 1.7 звеньев, находящиеся в данный момент под осями опорных катков, при этом общая длина активно-опорных участков гусеницы

$$S = 1{,}7n_K,$$

где n_K – число опорных катков одного борта трелевочного трактора.

Среднее давление

$$q_C = \frac{G}{2bS},$$

где G – полный вес трактора; b – ширина гусеницы.

С увеличением нагрузок на катки или при трелевке на более мягком грунте, глубина колеи увеличивается, гусеницы глубже погружаются в грунт и, соответственно, возрастает длина активно-опорных участков. В случае равенства среднего давления пределу несущей способности грунта q_S, когда грунт потечет под давлением трактора, вся опорная поверхность движителя будет нагружать опорный массив и общая длина активно-опорных участков окажется равной теоретической L (рис. 1).

В пределах действительных давлений трактора $0 < q_C < q_S$, длина активно-опорных участков, с учетом натяжения гусеничной цепи и других факторов, определяется:

$$S = K\left(1{,}7n_K t + [L - 1{,}7n_K t]\frac{q_C}{q_S}\right),$$

где K – коэффициент, учитывающий натяжение гусеничной цепи.

Кратковременность действия нагрузки выразим через скорость трелевки V, длину контакта L и свойства грунта

$$q = \frac{q_C}{1 + \frac{kV}{2\varphi_0 L}},$$

где φ_0 – угол внутреннего трения грунта; k – коэффициент пропорциональности, учитывающий фильтрационные свойства грунта.

Технология лесосечных работ предусматривает необходимость многократных проходов трелевочных тракторов по трассам движения (волокам) в грузовом и холостом направлениях. Сложность математического описания процесса деформации грунта при многократных приложениях нагрузки заключается в том, что в результате нагружения грунта изменяются его прочностные характеристики и при последующих проходах тракторов по своему следу они опираются на совершенно иной массив, в котором по другому изменяются сжимающие напряжения, развиваются деформации уплотнения и сдвигов.

Наиболее полно реальные процессы взаимодействия гусеничного движителя со средой отражает выражение для глубины следа при единичном проходе [3]

$$h = \frac{q_S}{c}\frac{1}{1 - \frac{q}{q_S}}\frac{1+\delta}{1+\frac{\delta}{2}}arcth\frac{q}{q_S},$$

где с – коэффициент объемного смятия грунта; δ – коэффициент буксования движителя.

На рис. 2 приведены примеры кривых увеличения деформации грунта при последовательных кратковременных приложениях нагрузки.

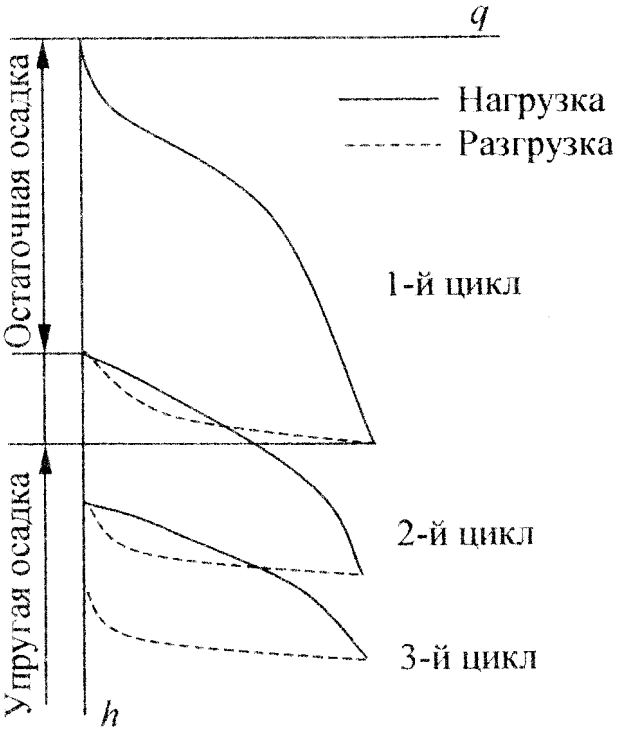


Рис. 2. Возрастание деформации при повторных приложениях нагрузки

При кратковременном воздействии на грунт нагрузок продолжительность нахождения грунта в напряженном состоянии бывает существенно короче того времени, которое необходимо для полного протекания деформации от нагрузки данной величины.

Достигаемая деформация при единичном приложении нагрузки составляет некоторую долю от полной деформации, соответствующей длительному действию той же нагрузки. Поэтому однократное кратковременное приложение большей нагрузки практически эквивалентно длительному воздействию меньшей нагрузки. Грунт как бы оказывается более прочным.

Повторяющиеся, многократно прилагаемые на короткое время к грунту нагрузки вызывают в нем накопление деформаций. Достигнув величины, соответствующей однократному длительному приложению нагрузки, деформация не прекращается, а продолжает расти при последующих воздействиях нагрузки. График (см. рис. 2) показывает постепенное уменьшение величины как остаточных, так и упругих деформаций от каждого повторного цикла нагрузки – разгрузки, объясняемое постепенно возрастающим уплотнением грунта. Кривые упругой деформации грунта, получаемые при разгрузке, не совпадают с кривыми деформациями при нагружении, образуя петли гистерезиса. Рост деформации при повторных приложениях нагрузки связан с тем, что после первого приложения нагрузки часть сместившихся структурных агрегатов заклинивается в неустойчивом положении, нарушаемом при частичном восстановлении деформации после снятия нагрузки.

Нарастание суммарной деформации находится в зависимости от числа приложения нагрузки. Эмпирическое уравнение этой зависимости имеет вид

$$H = h_1 + \frac{\alpha q(n-1)}{1+\frac{\alpha q(n-1)}{H_{max}}} + \frac{\alpha q^2}{q_S - q}\,\frac{1-\chi^{(n-1)}}{1-\chi},$$

где h_1 – глубина колеи при единичном проходе трактора; α – коэффициент линейной деформации грунта; H_{max} – максимальная деформация уплотнения; n – число проходов; χ – коэффициент накопления деформации сдвигов.

В расчетах глубины колеи последнее выражение следует рассматривать как сугубо эмпирическую зависимость, устанавливающую связь между конструктивными параметрами гусеничного трактора и свойств грунта при многократных проходах движителя по своему следу.

Литература

1. Котиков В. М., Слодкевич Я. В. и др. Процесс колееобразования при многократном проходе лесозаготовительных машин // Научные труды МГУЛ. 1995.
2. Котиков В. М., Слодкевич Я. В. и др. Структурная схема системы «лесозаготовительная машина – технология – лесные почвы» // Научные труды МГУЛ, 1995.
3. Гуськов В. В. и др. Тракторы. – М.: Машиностроение, 1988. – 376 с.