

бутанола и смесевого топлива с различным содержанием бутанола, в результате установлено:

- по мере роста содержания бутанола в смеси мощность двигателя снижается, для поддержания работы дизеля на заданном нагрузочном режиме требуется увеличивать цикловую подачу топлива;
- расход топлива возрастает по мере увеличения концентрации бутанола;
- содержание окислов азота снижается на малых нагрузках, а при высоких – возрастает;
- интегральный показатель выхода окислов азота увеличивается на 1...1,5% на каждые 5% увеличения бутанола в смеси.

### Литература

1. Выполнить анализ и подготовить рекомендации по выбору регулируемой системы рециркуляции отработавших газов дизеля [электронный ресурс]: отчет о НИР (заключ.) / БНТУ; рук. Кухаренок Г.М.; исполн. Петрученко А.Н. - Мн., 2011. - 80 с. - Библиогр.: с. 78-80.
2. Кухарёнок, Г.М. Пусковые качества дизелей с аккумуляторной системой топливоподачи / Г.М. Кухарёнок, А.Н. Марчук, А.Н. Петрученко. – Минск: БНТУ, 2012. – 173 с.
3. Звонов, В. А. Токсичность двигателей внутреннего сгорания [Текст]: В. А. Звонов. – 2-е изд., перераб. – М.: Машиностроение, 1981. – 160 с.

УДК 624.138.2.678.063

## НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ГРУНТА ПОД СЛЕДОМ КОЛЕСА ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

**М.Я. Довжик, к.т.н., доцент, Б.Я. Татьянченко, к.т.н., доцент,  
А.А. Соларёв, аспирант**

*Сумский национальный аграрный университет, Украина*

Одной из современных проблем сельскохозяйственного производства является защита почвы от переуплотнения колёсами работающих на полях машин. Давление колес и гусениц уменьшает пористость земли, приводит к неравномерному распределению влаги, изменяет теплопроводность и в результате ухудшает ее плодородие. Поэтому изучение механических явлений в грунте, протекающих под тяжестью технических средств обработки, имеет большое практическое значение.

В данной работе сделана попытка решить задачу о распределении напряжений и изменении плотности грунта под колесами или гусеницами машин при допущении линейной зависимости между усилиями и деформациями.

Под действием давления, распределенного по некоторой площади контакта, грунт находится в сложном напряженном состоянии. В нем возникают как нормальные напряжения  $\sigma$ , так и касательные –  $\tau$ . Как известно, при расчётах фундаментов приходится иметь дело со значительными удельными нагрузками, вызывающими большую осадку грунта, переход его в пластическое состояние, оседание и выпячивание в стороны и вверх. Эти процессы недопустимы под колесами и рабочими органами машин, работающих на полях, поэтому в данном случае можно применить теорию линейно деформированной среды.

В месте контакта колеса с землей на грунт передается давление интенсивности  $q$ , которое по ширине площадки можно считать постоянным (рис.1), а закономерность его изменения вдоль линии движения не имеет значения, так как максимум давления будет испытывать каждая точка образовавшегося следа.

Таким образом, имеем полосу бесконечной длины и шириной  $2a$ , деформированную равномерно распределенной нагрузкой. Напряженное состояние в произвольной точке массива описывается девятью компонентами напряжений. Их нахождение можно упростить, ограничившись плоским решением, если принять во внимание, что в направлении оси  $Oz$  грунт не имеет возможности деформироваться.

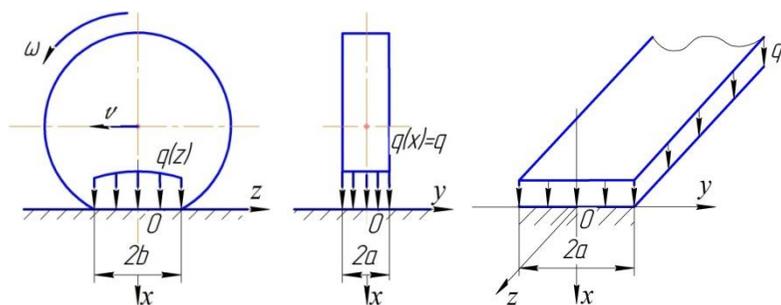


Рис. 1 – Нагрузка на грунт от колеса и расчётная схема

Рассматривая полоску единичной ширины, вырезанную двумя параллельными между собой и перпендикулярными оси  $Oz$  сечениями (рисунок 2), как полубесконечную плоскость, воспользуемся известным решением в полярных координатах [3, с.102] и запишем уравнения для напряжений в декартовой системе координат:

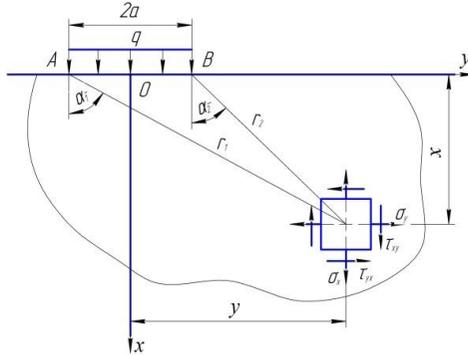


Рис. 2 – Напряженное состояние в плоскости xOy.

$$\sigma_x = \frac{q}{\pi} \left[ \arcsin \frac{y-a}{\sqrt{x^2 + (y-a)^2}} - \arcsin \frac{y+a}{\sqrt{x^2 + (y+a)^2}} + \frac{x(y-a)}{x^2 + (y-a)^2} - \frac{x(y+a)}{x^2 + (y+a)^2} \right];$$

$$\sigma_y = \frac{q}{\pi} \left[ \arcsin \frac{y-a}{\sqrt{x^2 + (y-a)^2}} - \arcsin \frac{y+a}{\sqrt{x^2 + (y+a)^2}} - \frac{x(y-a)}{x^2 + (y-a)^2} + \frac{x(y+a)}{x^2 + (y+a)^2} \right];$$

$$\tau_{xy} = \frac{q}{\pi} \left[ \frac{(y-a)^2}{x^2 + (y-a)^2} - \frac{(y+a)^2}{x^2 + (y+a)^2} \right].$$

Из условия  $\varepsilon_z = \frac{1}{E} [\sigma_z - \mu(\sigma_x + \sigma_y)] = 0$  находим:

$$\sigma_z = \mu(\sigma_x + \sigma_y) = \frac{2\mu q}{\pi} \left[ \arcsin \frac{y-a}{\sqrt{x^2 + (y-a)^2}} - \arcsin \frac{y+a}{\sqrt{x^2 + (y+a)^2}} \right],$$

где  $\mu$  – коэффициент поперечной деформации для грунта;

$E$  – модуль продольной упругости.

Нормальное напряжение  $\sigma_z$  является одним из трех главных напряжений, так как в плоскостях, перпендикулярных оси  $Oz$ , отсутствуют сдвигающие усилия и  $\tau_{xz} = \tau_{yz} = 0$ . В силу закона парности касательных напряжений  $\tau_{zx} = \tau_{xz} = 0$ ;  $\tau_{zy} = \tau_{yz} = 0$ . Таким образом, все компоненты напряженного состояния определены.

Очевидно, что максимально нагруженной будет вертикаль под центром распределённой нагрузки. Здесь площадки, параллельные и перпендикулярные плоскости  $xOz$ , являются главными, следовательно, напряжения  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$  и  $\sigma_z$  на них будут главными:

$$\sigma_x = -\frac{2q}{\pi} \left( \arcsin \frac{a}{\sqrt{x^2 + a^2}} + \frac{ax}{x^2 + a^2} \right);$$

$$\sigma_y = -\frac{2q}{\pi} \left( \arcsin \frac{a}{\sqrt{x^2 + a^2}} - \frac{ax}{x^2 + a^2} \right);$$

$$\sigma_z = -\frac{4\mu q}{\pi} \arcsin \frac{a}{\sqrt{x^2 + a^2}}.$$

На рисунке 3 приведены эпюры изменения этих напряжений, уменьшенные в  $q$  раз; после умножения их на  $q$  они принимают истинные значения. Это позволяет вычислять напряжения при любых нагрузках  $q$  и независимо от ширины колеса  $2a$ .

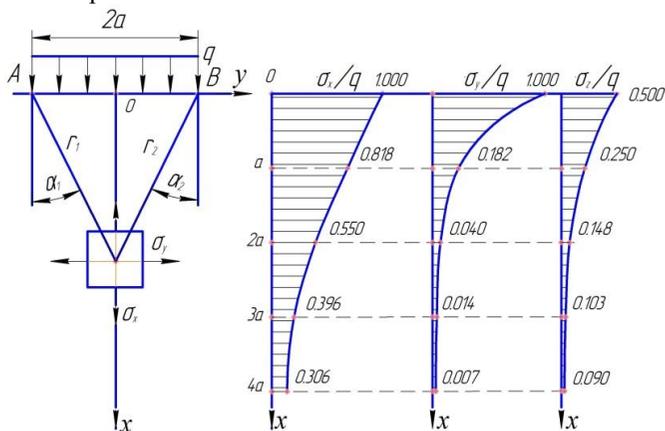


Рис. 3 – Эпюры главных напряжений в точках на оси  $Ox$ .

Расчёты показали, что наибольшее по модулю напряжение  $\sigma_x$  распространяется на значительную глубину и при  $x=3a$  все еще составляет около 40% от своего максимального значения. Максимальное сжатие грунта имеет место в центре распределенной нагрузки (точка O). Здесь вертикальное по оси Oх и горизонтальное по оси Oу напряжение под колесом равно удельному давлению  $q$ .

На свободной поверхности грунта при  $y>/a/$  все составляющие напряжения равны нулю. В особых условиях находятся точки А и В. Здесь, вследствие резкого обрыва давления, имеет место сдвиг грунта, находящегося под колесом, относительно остальной его массы. В результате среза именно в этих точках зарождаются пластические деформации и грунт переходит в состояние текучести, которое затем распространяется вглубь массива. Относительное изменение объёма в произвольной точке массива:

$$\theta = (1 - 2\mu)(\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z) / E.$$

Теперь можно определить относительное изменение плотности грунта, вызванное изменениями его объёма:  $p / p_0 = 1 / (1 - \theta)$ .

Здесь  $p_0$  - плотность грунта в ненапряженном состоянии.

Используя имеющиеся в литературе сведения об удельном давлении на грунт колёс наиболее часто используемых тракторов, автомобилей и комбайнов [2, с.54...57], можно определить изменение плотности грунта в любой точке и выбор машины, обеспечивающей уплотнение в пределах нормы, допустимых для данного вида культуры и почвы.

Результаты расчётов для принятых значений упругих констант грунта не расходятся с имеющимися в литературе аналогичными данными. Так, увеличение плотности под колесом технического средства средней мощности составляет около 2,5...3,0%, что совпадает с результатами известных исследований [2, с.8...14]. Степень соответствия результатов расчёта действительному положению в большой мере зависит от точности принимаемых упругих констант. Если для песчаных и глинистых грунтов, на которых чаще всего опираются фундаменты, они известны, то для поверхностного слоя гумуса, этих характеристик нет. Причина очень проста: эта среда слишком неоднородна по своей структуре. В данном случае принято  $\mu = 0.25$ ;  $E=10$  МПа. Как известно, комфортность условий для культурных растений определяется пористостью грунта. Пористость, например, среднесуглинистых и глинистых светлых чернозёмов находится в диапазоне 40...55% [2, с.8...14]. Следовательно, увеличение плотности этих грунтов на 2...3% повлечёт снижение их пористости на 4...6%. Это может оказать неблагоприятное влияние на рост и урожайность многих культур.

### Литература

1. Інженерна геологія. Механіка ґрунтів, основи та фундаменти : підручник / [Зоценко М.Л., Коваленко В.І. та ін.]; за ред. М.Л. Зоценко. – Полтава: ПНТУ, 2003. – 554 с.
2. Кравченко В.И. Уплотнение почв машинами / В.И. Кравченко. – Алма-Ата: «Наука», 1986. – 96 с.
3. Самусь В.И. Основы теории упругости и пластичности / В.И. Самусь. – М.: «Высшая школа», 1982. – 264 с.

УДК 630.36

### ОЦЕНКА ДИНАМИЧЕСКОЙ НАГРУЖЕННОСТИ НЕСУЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ ПОГРУЗОЧНО-ТРАНСПОРТНОЙ МАШИНЫ

**С.П. Мохов, к.т.н., доцент, С.А. Голякевич, ассистент,  
С.Н. Пищов, к.т.н., доцент, С.Е. Арико, к.т.н., ассистент,  
А.В. Манько, магистрант**

*УО «Белорусский государственный технологический университет»,  
г. Минск, Республика Беларусь*

### Введение

На статическую и динамическую нагруженность форвардера значительное влияние оказывают массово-геометрические параметры перевозимых сортиментов. Так, при проведении погрузочных операций, в зависимости от массы поднимаемых сортиментов и загрузки грузовой платформы сортиментами различной длины, величины статических крутящих и изгибающих моментов, действующих на шарнир форвардера, изменяются в значительных диапазонах.

### Основная часть

Смещение зависимостей вдоль оси абсцисс относительно нуля (рисунок 1) объясняется консольным расположением центра тяжести энергетического модуля форвардера, что приводит к возникновению статического момента изгиба величиной до 2,5 кН·м (при повернутом на 90° манипуляторе). Нелинейное уменьшение момента кручения в шарнире при увеличении загрузки форвардера вызвано ростом восстанавливающего момента технологического модуля при одновременном увеличением жесткости его колес. Значительное влияние на нагруженность шарнира сочленения полуграм в процессе работы манипулятора оказывают параметры механизма его блокирования. Так, зависимости изменения момента кручения в шарнире форвардера 4К4 при проведении погрузочно-разгрузочных операций для различных масс поднимаемых сортиментов и крутильной жесткости меха-