

ВЛИЯНИЕ НЕРАВНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КОНТАКТНЫХ ДАВЛЕНИЙ ШИН НА НАПРЯЖЕНИЯ В ПОЧВЕ

Г.И. Гедроить, канд. техн. наук (БГАТУ)

Аннотация

С помощью способа элементарного суммирования оценено влияние неравномерности распределения контактных давлений шин и площади поверхности контакта на напряжения в почве.

With the help of the method of an elementary summation the influence of uneven distribution of contact pressure of tires and the surface area of contact on the tension in the soil has been estimated.

Введение

При качении пневматического колеса на жестком основании деформируется только шина, а при качении по почве одновременно деформируются шина и опорная поверхность. Чем выше жесткость шины и мягче почва, тем меньше деформация шины и параметры ее контакта ближе к аналогичным параметрам жесткого колеса. Соответственно, чем эластичнее шина и тверже почва, тем лучше развивается пятно контакта и процесс качения ближе к качению эластичного колеса по жесткому основанию.

При изучении взаимодействия ходовых систем с почвой одним из важнейших факторов являются давления в контакте. При номинальном давлении воздуха в шине должно достигаться полное выпрямление ее беговой дорожки [1, 2]. Однако вследствие изменения в широких пределах нормальных нагрузок на колесо и свойств опорных оснований, деформация шин при работе машин не является постоянной и это условие не соблюдается. Соответственно изменяется и форма контактной поверхности шины, представляющей сложную криволинейную поверхность, точки которой погружены в почву на разную глубину [3]. Так как нормальные давления в контакте функционально связаны с глубиной погружения деформатора, то у реальной шины на почве имеет место неравномерное распределение этих давлений по всей поверхности контакта. При аналитическом решении плоских задач взаимодействия колеса с почвой учитывается только неравномерность распределения контактных давлений в продольной плоскости. Решения упрощаются, однако возникает погрешность, искажается характер процесса взаимодействия колеса с почвой, не представляется возможным проанализировать влияние реальных параметров шины на показатели взаимодействия.

Изменение характера распределения давлений по поверхности контакта (эпюр давлений) можно трактовать как изменение характера нагружения почвы. При этом изменяются напряжения в почве, а следовательно, и деформации почвенных элементов в массиве. По мнению профессора В.А. Скотникова [4],

именно равенство напряжений в одноименных точках почвы под сравниваемыми объектами является главным условием подобия процесса воздействия ходовых систем на почву.

Очень сложно получить достоверные экспериментальные данные по давлениям в контакте шин с почвой и напряжениям в почве при проходе машин. Наиболее распространен метод измерения контактных давлений с помощью мембранных металлических датчиков, устанавливаемых в протектор шины. Он позволяет определить эпюры давлений, но их абсолютные значения искажаются. Измеренные давления могут в два и более раз отличаться от действительных [5]. Это связано с разной жесткостью измерительных элементов и шины, отличием свойств среды, используемой для градуировки датчиков (воздух или жидкость), и воздействующей на датчик при качении колеса. Отличается и характер нагрузки на датчик при градуировке и в условиях эксперимента. В последнем случае равнодействующая сил, действующих на датчик, не перпендикулярна к поверхности мембраны. Для измерения напряжений в почве также используются различные конструкции мембранных датчиков (месдозы). Отклонения измеренных значений от действительных связаны с тем, что при установке датчиков в почву нарушаются ее исходное состояние, ориентация и положение датчиков в массиве почвы из-за значительных перемещений слоев почвы при проходе машин.

Цель настоящей работы – выделить максимальные контактные давления на почву как независимый фактор и оценить расчетным путем на основе единого методологического подхода влияние неравномерности распределения контактных давлений на напряжения в одноименных точках почвы.

Основная часть

Предполагаем почву линейно деформируемой средой. Это позволяет воспользоваться методами механики грунтов [6, 7]. Последние наиболее детально разработаны и применяются в исследованиях процесса взаимодействия ходовых систем с почвой [4, 8].

Принято, что нагрузка передается на почву через прямоугольную площадку постоянной площади, а эпюры контактных давлений представляются сочетанием прямых (табл. 1). На эпюрах для характерных точек вынесены значения заданных давлений в кПа. Характер заданных идеализированных эпюр соответствует характеру экспериментальных, а их изображение в виде сочетания прямых линий позволяет упростить вычисления [4]. Как правило, с повышением эластичности шин и уменьшением их погружения в почву, форма эпюр изменяется от куполообразной (жесткие шины на мягкой почве) до седлообразной (пневмокатки и арочные шины на твердой почве).

Неравномерность распределения давлений в контакте оценена коэффициентом неравномерности χ , равным отношению наибольшего давления к среднему. Максимальное значение коэффициента неравномерности принято равным трем. Это соответствует эксперименту с семью типоразмерами шин для сельскохозяйственной техники [9]. Значения коэффициента неравномерности изменялись преимущественно в пределах 2,0...3,0, хотя в отдельных опытах достигали 3,5 и более.

Для линейных систем справедлив принцип суперпозиции, согласно которому результат воздействия на частицу нескольких сил есть просто результатов воздействия каждой из сил. Поэтому в случае сложной формы загрузочной площадки либо при неравномерном распределении контактных давлений расчет напряжений в почве ведется по способу элементарного суммирования [7]. Сущность способа заключается в том, что загрузочная площадка разделяется на элементы таких размеров, чтобы можно было считать приходящиеся на них нагрузки сосредоточенными в их центрах тяжести. В этом случае формула для расчета сжимающих напряжений на глубине z имеет вид:

$$\sigma_z = \sum_{i=1}^n K_i \frac{P_i}{z^2},$$

где P_i – нормальная сила, действующая на i -й элемент;

n – количество элементов, выделенных на загрузочной площадке;

K_i – коэффициент, зависящий от соотношения $\frac{r_i}{z}$. Значение коэффициента определяется по таблицам [6, 7], либо по формуле:

$$K_i = \frac{3}{2\pi} \frac{1}{[1 + (\frac{r_i}{z})^2]^{5/2}},$$

где r_i – проекция на горизонтальную плоскость расстояния от центра тяжести i -ого элемента до рассматриваемой точки.

Численная оценка напряжений в почве произведена на примере передачи нагрузки через прямоугольную площадку с соотношением сторон

$L/B = 1,3$. Размеры площадки приняты 0,360 * 0,468 м и 0,509 * 0,662 м. В первом случае площадь $F_{n1} = 0,1685 \text{ м}^2$, во втором $F_{n2} = 2F_{n1} = 0,3370 \text{ м}^2$. Среднее давление задано равным 200 кПа. Принятые параметры характерны для контакта сельскохозяйственных шин с почвой.

Нагрузочные площадки разбиты на ряд элементарных площадок (рис.1).

Размеры сторон l и b прямоугольных элемен-

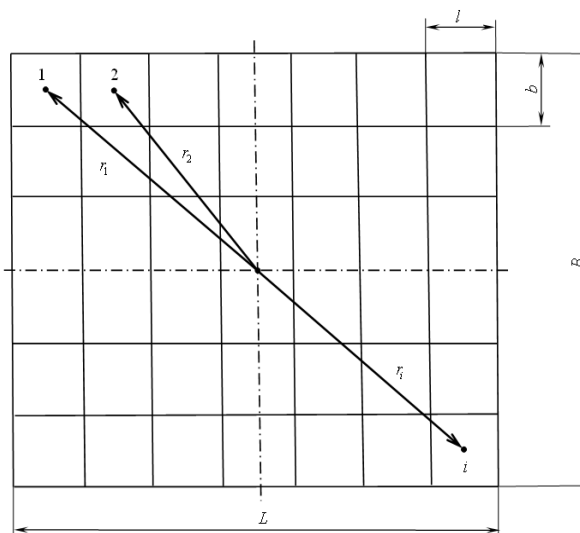


Рисунок 1. Схема разделения загрузочной площадки на элементы

тарных площадок определены из соображений достижения погрешности расчетов не более 6%. Это выполняется, если сторона элементарной площадки меньше половины расстояния от ее центра до точки, в которой определены напряжения [7]. Для выполнения этого условия основные площадки разделены соответственно на 20 и 35 элементарных площадок с размерами 93,6 * 90 мм и 101,8 * 94,6 мм. Минимальная глубина для расчета напряжений принята равной 0,2 м, так как метод суммирования напряжений применяют, начиная с глубин, превышающих удвоенную длину меньшей стороны выделенной элементарной площадки [6]. Напряжения рассчитаны под центром загрузочных площадок (табл.1). Индексами 1,2,...,j, указанными в скобках, обозначены номера вариантов.

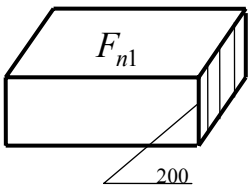
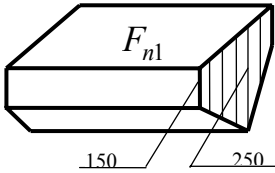
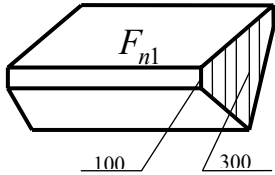
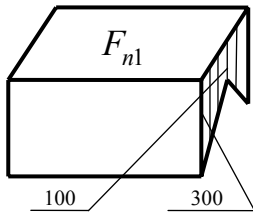
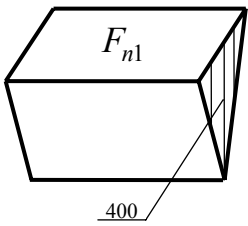
Анализ полученных результатов по напряжениям в почве на разной глубине, а также по соотношениям напряжений $\sigma_{z(j)}$ в вариантах с неравномерным распределением контактных давлений и напряжений $\sigma_{z(1)}$ в первом варианте с равномерным распределением контактных давлений показывает:

– неравномерное распределение контактных давлений по загрузочной площадке существенно влияет на

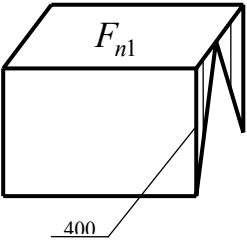
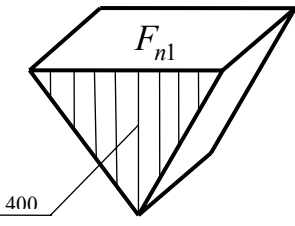
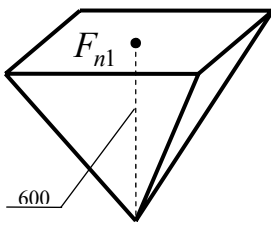
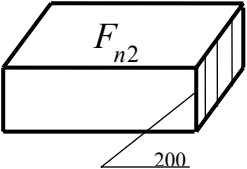
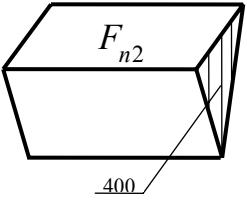
напряжения в верхнем слое почвы $z = 0,2$ м. Так, при коэффициенте неравномерности $\chi = 2 \dots 3$ напряжения увеличиваются в 1,17...1,38 раза. В случае седлообразных эпюр (варианты 4, 6) отмечено снижение напряжений под центром площадки. Естественно предположить, что в этом случае возрастают напряжения в точках, расположенных ближе к краям площадки;

– с увеличением глубины ($z = 0,4$ м, $z = 0,6$ м) влияние неравномерности распределения контактных давлений на напряжения в почве уменьшается. Максимальное увеличение напряжений составило 12% (вариант 8). Это удовлетворяет принципу Сен-Венана, согласно которому в точках тела, достаточно удаленных от площадки приложения внешних нагрузок, напряжения мало зависят от детального способа их осуществления;

Таблица 1. Влияние неравномерности распределения контактных давлений на напряжение в почве

№ варианта	Форма эпюры и значение контактных давлений, кПа	χ	Напряжения σ_z , кПа на глубине z , м			Соотношение напряжений		
			0.2	0.4	0.6	$\frac{\sigma_{z(j)=0,2}}{\sigma_{z(1)=0,2}}$	$\frac{\sigma_{z(j)=0,4}}{\sigma_{z(1)=0,4}}$	$\frac{\sigma_{z(j)=0,6}}{\sigma_{z(1)=0,6}}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1		1	142.8	69.8	37.5	1	1	1
2		1.25	148.9	70.8	37.8	1.04	1.01	1.01
3		1.5	154.6	71.7	38.0	1.08	1.03	1.01
4		1.5	131.2	67.9	36.2	0.92	0.97	0.97
5		2	166.7	73.8	38.5	1.17	1.06	1.03

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
6		2	119.0	66.0	36.4	0.83	0.95	0.97
7		2	181.6	76.9	39.3	1.27	1.10	1.04
8		3	196.7	78.3	39.3	1.38	1.12	1.05
9		1	170.2	106.2	64.2	1.19	1.52	1.71
10		2	214.6	116.7	67.4	$\frac{1.26^*}{1.29^{**}}$	$\frac{1.10^*}{1.58^{**}}$	$\frac{1.05^*}{1.75^{**}}$
		$* - \frac{\sigma_{z(10)}}{\sigma_{z(9)}}; \quad ** - \frac{\sigma_{z(10)}}{\sigma_{z(5)}}$						

– неравномерность распределения давлений вдоль длинной стороны нагрузочной площадки более существенно сказывается на напряжениях в почве по сравнению с распределением вдоль меньшей стороны при таких же значениях χ (варианты 5, 7). Последний вариант возможен под пневмокатками;

– увеличение площади контакта при заданном равномерном распределении контактных давлений вызывает интенсивный рост напряжений в глубоких (подпахотных) слоях почвы (варианты 1, 9). В отмеченном случае при увеличении площади контакта в

два раза напряжения в слоях почвы 0,4 м и 0,6 м увеличились соответственно в 1,52 и 1,71 раза. В слое почвы 0,2 м напряжения возросли в 1,19. Следовательно, чем глубже расположены слои почвы, тем значительней влияние площади деформатора. При неравномерном распределении контактных давлений (варианты 5, 10) влияние площади выше.

С целью соблюдения принятых допущений, в слоях почвы, расположенных ближе, чем 0,2 м к нагрузочной площадке, напряжения не рассчитывались. Однако из полученных результатов видно, что в этом

случае влияние неравномерности распределения контактных давлений на напряжения в почве будет более существенным.

Заключение

В аналитических исследованиях взаимодействия ходовых систем машин с почвой необходимо учитывать продольную и поперечную неравномерность распределения контактных давлений с опорным основанием и применять объемные расчетные схемы.

При модернизации ходовых систем машин с целью снижения давления на почву необходимо стремиться к обеспечению более равномерной эпюры контактных давлений.

Обязательным условием является проверка по напряжениям в подпахотном слое почвы в связи с тем, что влияние размеров площади контакта в этом случае значительно больше влияния изменения максимальных контактных давлений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шины для сельскохозяйственной техники: справоч. пособ. – М.: Химия, 1986. – 112 с.
2. Раймпель, Й. Шасси автомобиля: амортизаторы, шины, колеса; пер. с нем./ Й. Раймпель, В.П.Агапова; под ред. О.Д.Златовратского. – М.: Машиностроение, 1986. – 320 с.

3. Гедроить, Г.И. Сопротивление качению ведомых пневматических колес / Г.И. Гедроить //Агропанорама. – 2010, № 1. – С. 26-30.

4. Скотников, В.А. Проходимость машин/ В.А.Скотников, А.В. Пономарев, А.В. Климанов. – Мн.: Наука и техника, 1982. – 328с.

5. Русанов, В.А. Проблема переуплотнения почв движителями и эффективные пути ее решения / В.А.Русанов. – М.: ВИМ, 1998. – 368 с.

6. Бабков, В.Ф. Основы грунтоведения и механика грунтов/ В.Ф. Бабков, В.М.Безрук. – М.: Высшая школа, 1986. – 239 с.

7. Цытович, Н.А. Механика грунтов / Н.А.Цытович. – М.: Высшая школа, 1983. – 288 с.

8. Кулен, А. Современная земледельческая механика / Пер. с англ. А.Э.Габриэляна; под ред. и предисл. Ю.А.Смирнова / А.Кулен, Х. Куиперс. – М.: Агропромиздат, 1986. – 349с.

9. Гедроить, Г.И. Распределение давлений в контакте шин кормоуборочных машин с торфяно-болотной почвой/ Г.И. Гедроить, Г.А. Лазарев, А.Н. Вичик // Повышение проходимости сельскохозяйственной техники на почвах с низкой несущей способностью: сб. науч. трудов. – Горки, 1989. – С. 53-58.

УДК 631.431.73

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 24.02.2011

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ТОРФЯНОЙ ЗАЛЕЖИ ОТ ПРОХОДА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН

**Я.М. Шупилов, канд. техн. наук, А.А. Зеленовский, канд. экон. наук, доцент,
Н.Г. Королевич, канд. экон. наук, доцент (БГАТУ)**

Аннотация

В статье рассматриваются вопросы влияния сельскохозяйственных машин на торфяную почву. В целях прогнозирования их негативного воздействия предложена методика расчета остаточной деформации торфяной залежи от ходовых систем машин. Приводятся физико-механические показатели торфа, используемые в расчете.

The aspects of the influence of agricultural machines on the peat soil are being considered in the article. To forecast the machinery's negative influence the methodology of calculation of the residual deformation of peat beds being damaged by machines' running gear has been offered. The physical-mechanical peat properties used in the calculation have been provided.

Введение

При многоукосном использовании сеяных трав число проходов техники по лугу составляет 6-21 раз за сезон [1]. При уборке трав на зеленый корм, силос или травяную муку суммарное покрытие следами машин площади луга за один укос составляет 51%, при заготовке сенажа – 75%, сена – 130%.

Установлено, что давление ходовых систем сельскохозяйственной техники на почву не должно превышать 50-60 кПа в зависимости от влажности и типа почвы, условий работы, тогда как современные тракторы и прицепы создают давление до 300 кПа и выше. Это приводит, особенно на торфяных почвах, к разрушению дернины, повреждению и гибели трав, снижению долголетия сеяного луга.