

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОСКАЛЬЗЫВАНИЯ ПНЕВМАТИЧЕСКОГО КОЛЕСА ОТНОСИТЕЛЬНО ОПОРНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ КАЧЕНИИ С УВОДОМ

А.С. Павлюк, В.И. Поддубный

*В статье дан краткий анализ теорий описания взаимодействия пневматического колеса с опорной поверхностью и сформулированы задачи исследований. Приведено описание устройств, используемых авторами при проведении исследований скольжения протектора шины относительно опорной поверхности при качении колеса. Представлены результаты экспериментов по определению скольжения колеса с шиной 260-508P при качении с уводом в ведомом режиме. Эксперименты проводились при давлении воздуха в шине 0.45 мПа. По результатам эксперимента сделаны качественные выводы о влиянии вертикальной нагрузки на колесо, угла увода на проскальзывание протектора экваториальной линии шины при прохождении им контакта с опорной поверхностью. Установлен характер зависимости углового скольжения от вертикальной нагрузки и угла увода.*

Одним из основных конструктивных элементов, влияющих на устойчивость и управляемость движения колесных машин, являются пневматические шины, определяющие связи с опорной поверхностью. При разработке математической модели движения колесной машины одним из наиболее важным ее составным элементом является модель пневматического колеса, реально отображающая взаимодействие колеса с опорной поверхностью при действии на него продольных, поперечных и нормальных сил. Модель колеса должна описывать боковое и продольное движение при его комплексном нагружении.

Существующие модели и теории качения пневматического колеса можно разделить на два категории. Модели первого направления основываются на экспериментальных исследованиях характеристик качения колеса. Следует отметить, что разработка адекватной модели в этом случае требует большого объема экспериментов. Теории второго направления, так называемые деформационные модели, основываются на уравнениях кинематических связей негोलонномных систем. Преимуществом их является то, что они правильно описывают процесс деформирования колеса и его перекачивания как упругого элемента при действии переменных сил. В то же время большинство из них исходит из отсутствия скольжения колеса относительно опорной поверхности, что является неточным, особенно при действии сил, близким к предельным по сцеплению и при качении по деформируемому основанию. Экспериментально доказано, что передача силы в контакте колеса с опорной поверхно-

стью невозможна без скольжения, которое можно разделить на упругое (обусловленное изменением формы шины при действии касательных сил) и, непосредственно, на скольжение, обусловленное проскальзыванием протектора относительно опорной поверхности [1]. Предоставляется целесообразным разработка модели качения колеса для получения его выходных силовых и кинематических характеристик, основанная на минимальном количестве экспериментальных исследований. По мнению авторов, эту задачу можно решить, если рассмотрение колеса, как упругого элемента, дополнить рассмотрением скольжения колеса относительно опоры. Определение характеристик колеса, как упругого элемента может быть проведено при помощи оболочечной модели, модели кольца на упругом основании или метода конечных элементов, получившего в последние годы широкое распространение вследствие возросших возможностей ЭВМ.

Наименее изучены в настоящее время вопросы, связанные со скольжением шины относительно опоры. Этот сложный процесс зависит от многих факторов – рисунка протектора шины, степени его изношенности, вида опорной поверхности, ее состояния и т.д.

В случае, если будет разработана теория, адекватно описывающая этот процесс, открываются возможности прогнозирования на стадии конструирования таких выходных характеристик колеса, как коэффициент буксования, тяговый к. п. д. колеса, коэффициент сопротивления боковому уводу при различных режимах качения колеса. Возможна также разработка рекомендаций по снижению

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОСКАЛЬЗЫВАНИЯ ПНЕВМАТИЧЕСКОГО КОЛЕСА ОТНОСИТЕЛЬНО ОПОРНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ КАЧЕНИИ С УВОДОМ

износа шин, основанных на результатах моделирования.

Под руководством и непосредственным участии авторов были проведены экспериментальные исследования скольжения протектора шины колеса, катящегося с уводом. На первом этапе была принята методика эксперимента, основанная на использовании эффекта Холла. Этот способ был предложен и разработан учеными кафедры автомобилей технического университета г. Дармштадт под

руководством профессора Берта Бройера. Создано несколько поколений сенсоров, позволяющих определять напряжения, деформации в резине протекторного слоя, скольжение относительно опорной поверхности [2]. С участием В.И. Поддубного были проведены исследования процессов взаимодействия пневматического колеса с опорной поверхностью при помощи шинных сенсоров.

Шинный сенсор 2-го поколения схематически изображен на рис. 1.

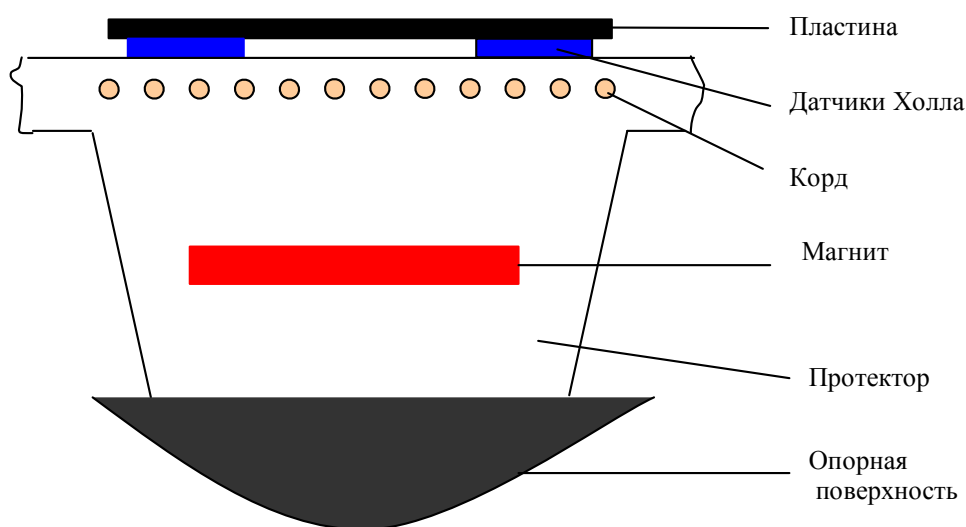


Рис.1. Шинный сенсор 2-го поколения

Сенсор состоит из завулканизированного в протектор шины магнита и пластины, закрепленной на внутренней стороне шины. На пластине находятся четыре расположенных в крест датчика Холла. При деформации резины протектора происходит перемещение магнита относительно датчиков и изменение магнитной индукции на датчике. Вследствие этого изменяется выходное напряжение датчиков. Из разности напряжений датчиков X1 и X2 формируется выходное напряжение  $U_x$ , разность напряжений датчиков Y1 и Y2 дает напряжение  $U_y$  (рис.2). При определении проскальзывания пластина с датчиками Холла была вмонтирована в опорную поверхность. Магнит был закреплен в наружной поверхности протектора. При скольжении шины относительно опорной поверхности перемещение магнита вызывает изменение выходных напряжений  $U_x$  и  $U_y$ . Наряду с положительным свойством данного метода – сохранение условий в контакте колеса близких к реальным были

обнаружены недостатки. При входе элемента протектора с магнитом в контакт с опорной поверхностью и выходе из него положение магнита относительно пластины с датчиками не соответствует положению магнита относительно пластины при тарировке. Таким образом величины проскальзываний в начальной зоне контакта и на выходе определяются с погрешностью. Кроме этого деформация протектора при прохождении контакта вызывает вращение магнита относительно пластины, что также вносит дополнительную погрешность.

Авторами было разработано устройство для измерения проскальзывания шины относительно опорной поверхности.

Устройство для измерения проскальзывания протектора шины относительно опорной поверхности содержит подвижный измерительный элемент, выполненный в виде диска 1 с цилиндрической боковой поверхностью, имеющей возможность контакта с наружной поверхностью протектора 2

шины испытуемого колеса. Для обеспечения контакта диска 1 с наружной поверхностью протектора 2 в опорной плите 3 выполнена щель 4. Диск 1 установлен на оси 5, имеющей возможность углового и осевого перемещений в подшипниках своей опоры 6. Опора 6 жестко связана с опорной плитой 3.

На оси 5 закреплен и диск 7, контактирующий своим торцом с подвижной частью датчика 8 поперечного проскальзывания, определяющим осевое перемещение диска 1, а своей боковой поверхностью – с датчиком 9 продольного проскальзывания, определяющим угловое перемещение диска 1.

Устройство для измерения проскальзывания протектора шины относительно опорной поверхности работает следующим образом. При наличии продольного и поперечного проскальзываний при взаимодействии части наружной поверхности протектора 2 с цилиндрической боковой поверхностью диска 1 осуществляется угловое и осевое перемещение диска 1, диска 7 и оси 5 в подшипниках опоры 6. Величины продольного и поперечного проскальзываний определяются показаниями датчиков 8 и 9, вырабатывающих сигналы, пропорциональные перемещениям диска 1. Схема устройства изображена на рис 3.

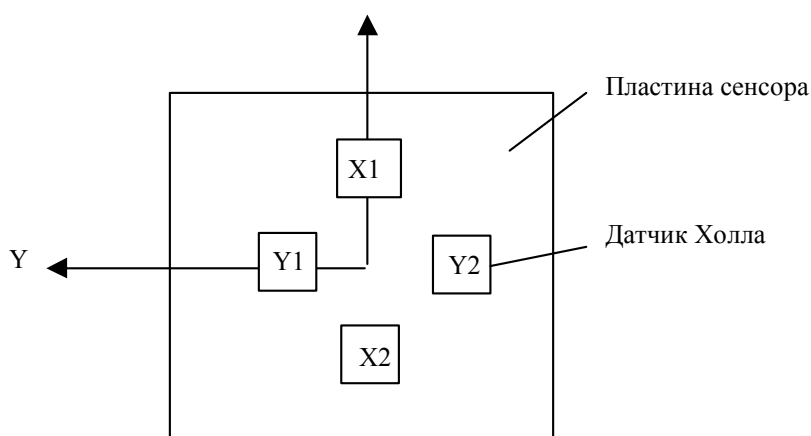


Рис.2. Крестообразное расположение датчиков Холла на пластине шинного сенсора

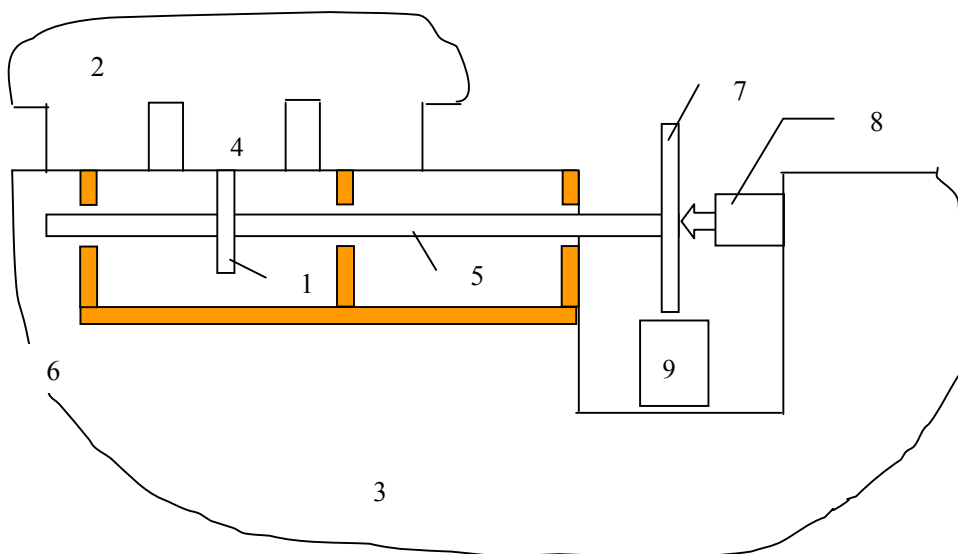


Рис. 3. Схема устройства для определения проскальзывания протектора шины относительно опорной поверхности

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОСКАЛЬЗЫВАНИЯ ПНЕВМАТИЧЕСКОГО КОЛЕСА ОТНОСИТЕЛЬНО ОПОРНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ КАЧЕНИИ С УВОДОМ

Устройство было применено для определения поперечного скольжения колеса при качении его с уводом в ведомом режиме. Испытания проводились на стенде с плоской бетонной опорной поверхностью при различных нагрузках и давлениях воздуха в шине. Стенд разработан и изготовлен на кафедре автомобили и автомобильное хозяйство АлтГТУ. В 2002 году проведена его модернизация применительно к новым поставленным задачам. Стенд и устройство при испытаниях шины 260-508P изображены на рис. 4 и 5.

С целью определения скольжения, установления закона его распределения по длине, ширине контакта шины были проведены экспериментальные исследования увода колеса с шиной 260-508P. На рис. 6 – 9 приведены графики зависимостей поперечного скольжения протектора экваториальной линии шины при прохождении им контакта с опорной поверхностью. Результаты экспериментов показывают, что максимальное значение скольжения достигается при выходе протектора из контакта с опорной поверхностью. По мере увеличения боковой силы, что соответствует увеличению угла увода, зона скольжения возрастает. При увеличении вертикальной нагрузки на колесо абсолютные значения проскальзываний протектора увеличиваются. Это явление может быть объяснено увеличением длины контакта с опорой при увеличении нагрузки.



Рис. 4. Стенд для испытаний пневматических шин



Рис.5. Опорная плита с приспособлением для определения проскальзывания протектора относительно опорной поверхности

При составлении уравнений кинематических связей для катящегося колеса полный угол увода представляется как сумма углов увода за счет упругой поперечной деформации профиля шины и за счет бокового проскальзывания протектора относительно опоры. Одной из наиболее значимых задач при составлении модели качения колеса является описание зависимости углового скольжения шины при уводе как при стационарном (установившемся), так и при неустановившемся режиме качения. По результатам эксперимента были получены зависимости углового скольжения по экваториальной линии от вертикальной нагрузки при давлении воздуха в шине 0,45 мПа (рис. 10). Установлено, что при постоянном значении угла увода нагрузка на колесо оказывает неоднозначное влияние на составляющую увода за счет скольжения. Существует критическое значение нагрузки (для испытываемой шины между 10 и 15 кН), при которой относительная доля составляющей увода за счет скольжения максимальна. Зависимость углового скольжения от полного угла увода представляет собой нелинейную возрастающую функцию (рис. 11).

Исследования представляют собой начальный этап разработки модели качения пневматического колеса. При дальнейшей работе в этом направлении предполагается

установление зависимости скольжения от касательных и нормальных сил, действующих в контакте с опорной поверхностью.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кнороз В.И. Работа автомобильной шины. - М.: Транспорт, 1976. –238с.

2. Гуськов В. В. Тракторы: Теория. - М.: Машиностроение, 1988. – 376с.

3. Fach, M.; V. Bachmann und B.Breuer: Der Darmstädter Reifensensor im Labor und am Fahrzeug. 2. Darmstädter Reifenkolloquium. Fortschritt-Berichte VDI Reihe 12 Nr. 362, VDI- Verlag Düsseldorf 1998.

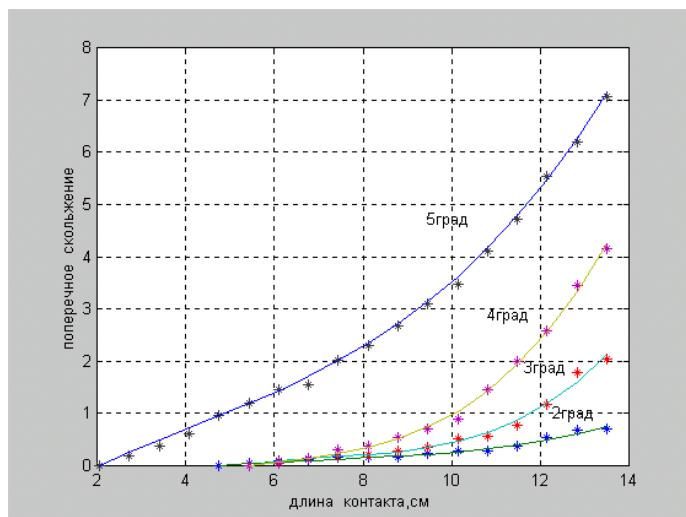


Рис. 6. Распределение поперечного скольжения протектора экваториальной линии шины 260-508P по длине контакта при радиальной нагрузке 5 кН

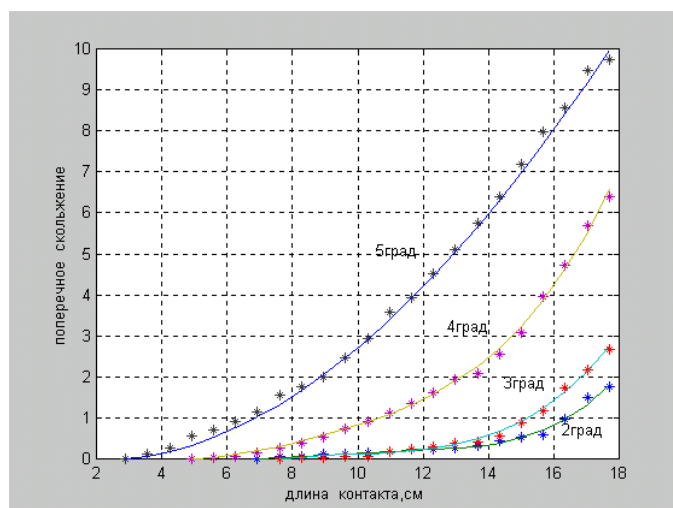


Рис. 7. Распределение поперечного скольжения протектора экваториальной линии шины 260-508P по длине контакта при радиальной нагрузке 10 кН

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОСКАЛЬЗЫВАНИЯ ПНЕВМАТИЧЕСКОГО КОЛЕСА  
ОТНОСИТЕЛЬНО ОПОРНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ КАЧЕНИИ С УВОДОМ

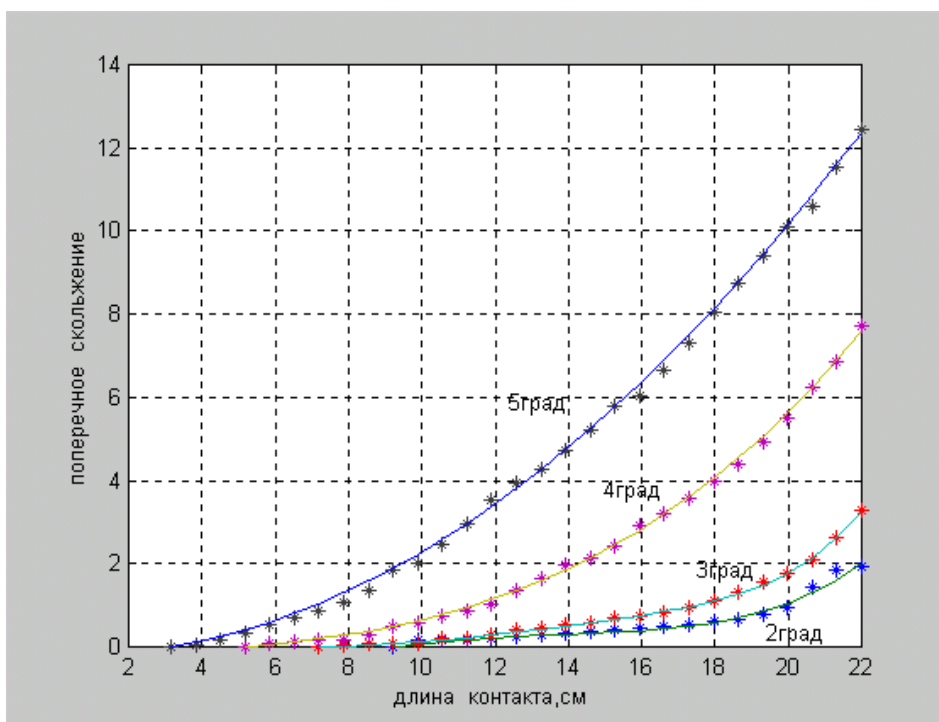


Рис. 8. Распределение поперечного скольжения протектора экваториальной линии шины 260-508Р по длине контакта при радиальной нагрузке 15 кН

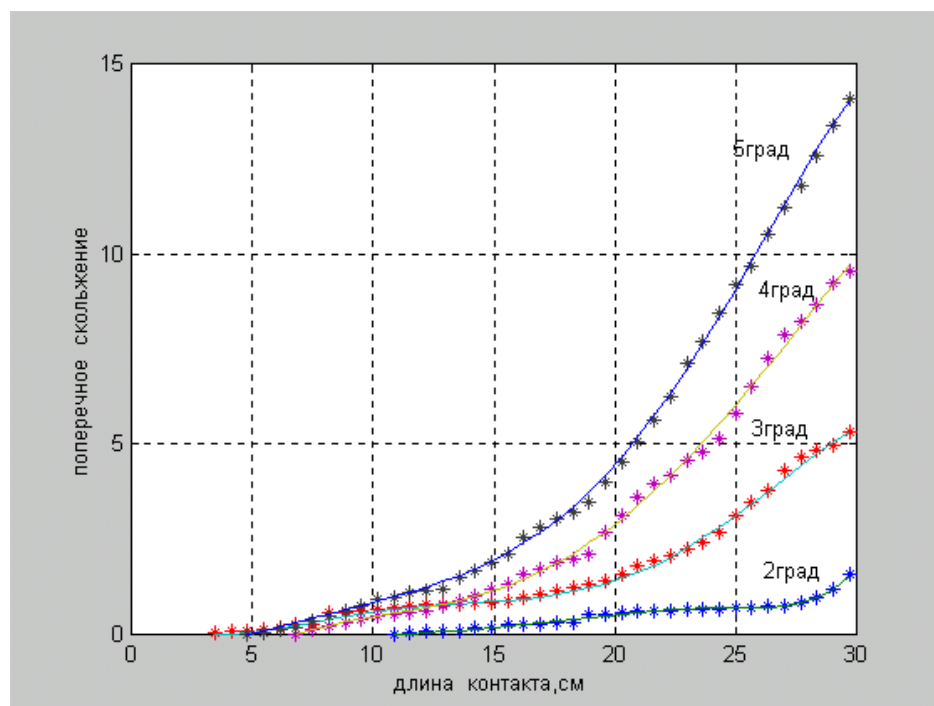


Рис. 9. Распределение поперечного скольжения протектора экваториальной линии шины 260-508Р по длине контакта при радиальной нагрузке 20 кН

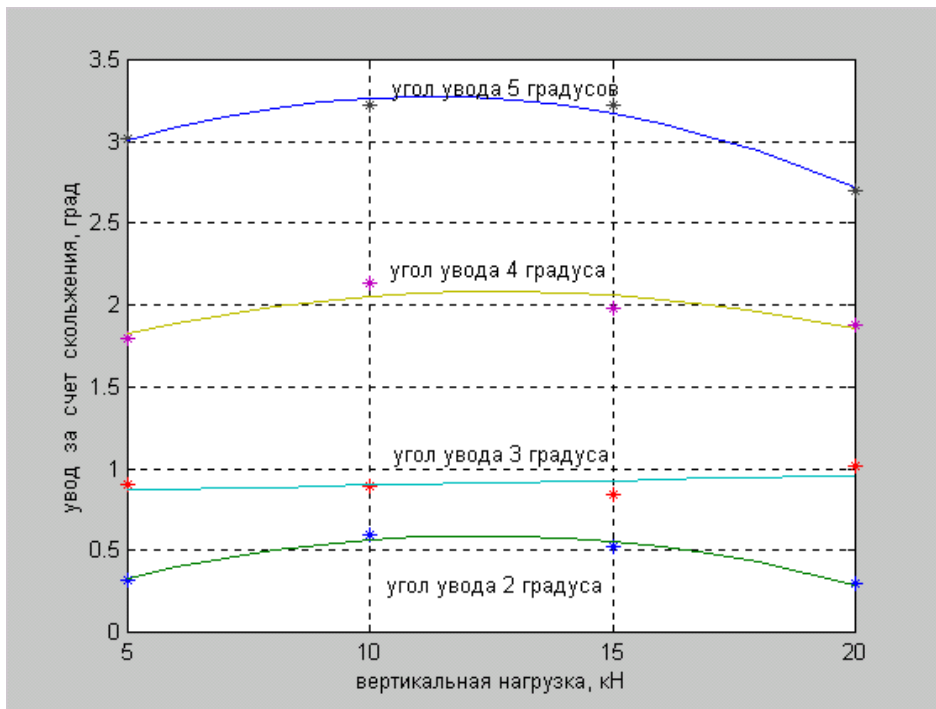


Рис. 10. Зависимости составляющих увода за счет скольжения от вертикальной нагрузки для шины 260-508Р

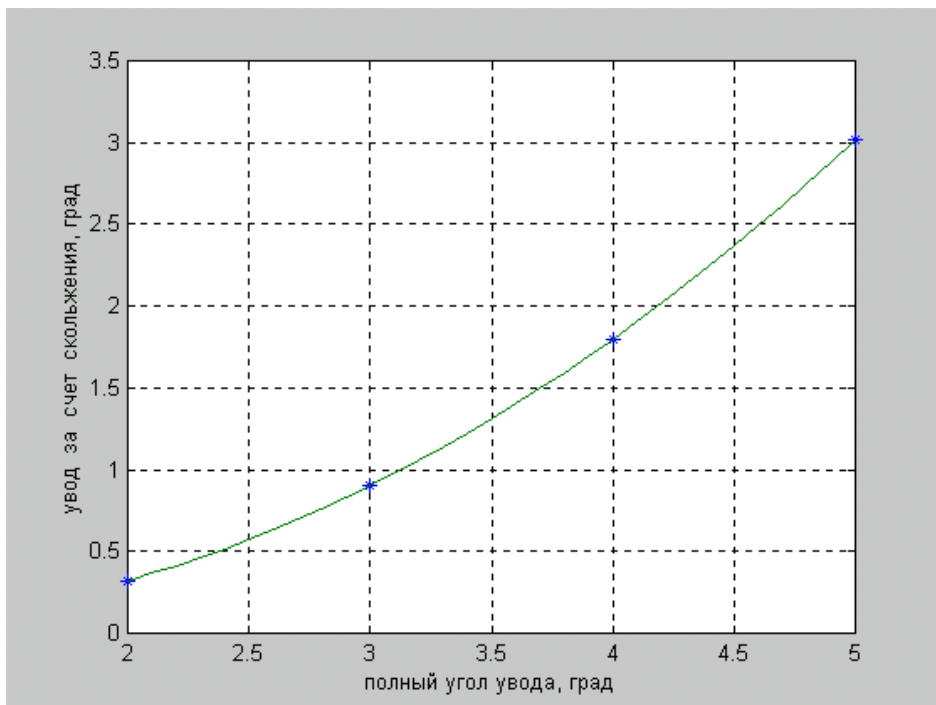


Рис. 11. Зависимость углового скольжения шины 260-508Р от полного угла увода при вертикальной нагрузке 5 кН.