

# МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДОЗИРОВАНИЯ КОРМОСМЕСИ ПРОБКОВЫМ КРАНОМ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С КОРМОРАЗДАТОЧНОЙ ТЕЛЕЖКОЙ

В.А. Павловский, ст. преподаватель, Ю.А. Сидоренко, канд. техн. наук, ст. научн. сотрудник (УО БГАТУ)

## Аннотация

Приведены результаты по точности дозирования жидкой кормосмеси пробковым краном, полученные при наладке автоматизированной системы кормления свиней. Выполнен детальный анализ причин выявленного отклонения выдаваемой дозы от заданной. В частности, рассмотрен процесс открытия пробкового крана специальным исполнительным механизмом – кормораздаточной тележкой. Выведена математическая зависимость изменения угла поворота крана от пройденного расстояния после соприкосновения упора тележки с краном. Аппроксимирована табличная зависимость изменения расхода кормосмеси во время открытия крана. Рассчитана поправка к дозе для конкретного трубопровода. В результате проведенного анализа получена формула, позволяющая управляющему программируемому логическому контроллеру вычислить поправку к заданной дозе по измеренному максимальному расходу кормосмеси через кран и известной скорости движения тележки, непосредственно при выдаче в каждую кормушку.

## Введение

В последние годы основными производителями свинины в Беларуси являются крупные свиноводческие предприятия [1]. В настоящее время основные фонды большинства этих предприятий требуют срочной замены или модернизации, что предусматривается Государственной программой возрождения и развития села на 2005-2010 годы, в пункте 2,5 [2].

В типовых проектах свиноводческих комплексов производительностью 54 и 108 тыс. голов в год, построенных во времена СССР, была заложена технология содержания животных в групповых станках с кормлением жидким кормом в цехе откорма и цехе репродукции для свиноматок второго периода супоросности [3].

На западе для приготовления и раздачи жидкого корма используются системы фирмы Big Dutchman [4, 5] и им аналогичные [6, 7].

Вопрос приготовления, транспортирования и раздачи жидких кормов рассмотрен В.В. Калюгой, С.В. Мельниковым, В.К. Найденко [8].

При модернизации свиноводческих комплексов необходимо достигать более высоких технико-экономических показателей. Поскольку отклонение от научно обоснованных норм приводит к убыткам при раздаче жидкого корма [9], актуальной является проблема повышения точности дозирования. Решение этой проблемы оказалось сопряжено с недостаточно освещенным в литературе вопросом дозирования кормосмеси пробковым краном при взаимодействии с кормораздаточной тележкой.

Быстродействующий пробковый кран 1 (рис. 1) применяется на свиноводческих предприятиях для слива

жидкой кормосмеси из кормопровода 2 в кормушки 3. Дозирование кормосмеси осуществляется открытием крана специальным исполнительным механизмом — кормораздаточной тележкой 4. Движением кормораздаточной тележки управляет программируемый логический контроллер 5 согласно заданной дозе и показаниям расходомера 6.

Отклонение фактических доз корма от нормируемых значений приводит к снижению эффективности использования дорогостоящих ресурсов, в частности, перерасходу комбикормов.

При наладке автоматизированной системы кормления свиней было выявлено отклонение выдаваемой дозы от заданной. Так, при закрытой в конце кормопровода задвижке 8 (тупиковый режим) и заданной дозе 50 литров по результатам измерений были получены следующие значения дозы в литрах: 62,6; 65,8; 66,0;

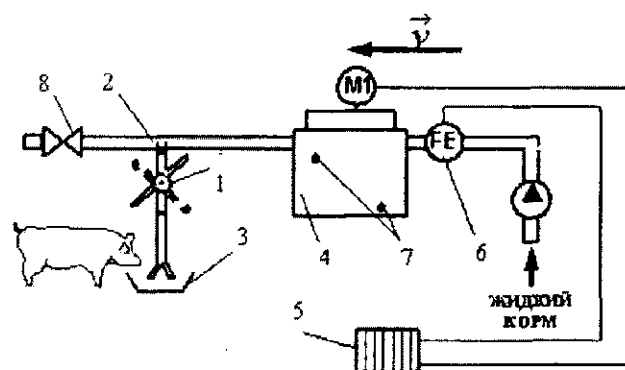


Рис. 1. Автоматизированная система кормления свиней

65,0; 64,8; 68,0; 66,2; 63,4; 60,8; 67,6. Средняя выдаваемая доза составила 65,0 литров с доверительной вероятностью 0,95. Среднеквадратическое отклонение составило 1,6 литра. По результатам измерений видно, что среднее значение выдаваемой дозы превышает заданную на 15,0 литров, что значительно больше среднеквадратического отклонения. Таким образом, был сделан вывод о том, что системой при дозировании в кормушку не учитывается некоторое количество кормосмеси.

Для определения причин этого явления и снижения погрешности до требований технического задания были проведены исследования процесса дозирования.

Выдачу дозы корма автоматизированной системой управления кормлением свиней (АСУТПКС) можно представить в виде следующего алгоритма.

1. Рычаг 2 пробкового крана 1 (рис. 2) находится в исходном положении, кран закрыт.
2. Кормораздаточная тележка 3 движется по направлению к крану и верхним упором 4 передвигает рычаг 2 в положение, обозначенное штриховой линией (кран полностью открыт). Одновременно флажок 6 конечного выключателя 5, установленного на кормораздаточной тележке 3, поворачивается при взаимодействии с краном 1 и сигнализирует о достижении тележкой положения разгрузки.
3. Кормораздаточная тележка останавливается. После слива заданного количества корма кормораздаточная тележка возобновляет движение.
4. Нижний упор 7 передвигает рычаг 2 в исходное положение (кран закрыт).

Уточним, что отсчет выданной дозы контроллер начинает после поступления сигнала от конечного выключателя и включает движение тележки после выдачи заданной дозы по показаниям расходомера.

Целью исследования являлось определение выдаваемой дозы корма при повороте крана из положения "закрыто" в положение "открыто" и из положения "открыто" в положение "закрыто", для последующей корректировки выданной дозы. Из приведенной выше информации следует, что именно в это время в кормушку попадает кормосмесь, не учтенная при дозировании.

В общем виде изменения, происходящие при открытии крана, можно представить в виде следующей

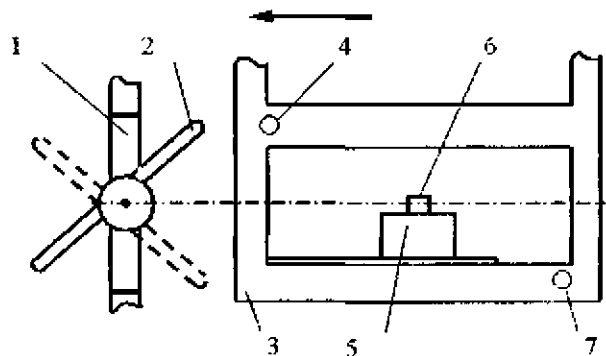


Рис. 2. Взаимодействие крана с кормораздаточной тележкой

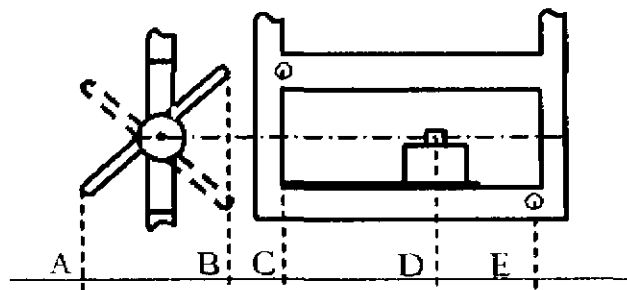


Рис. 3. Расположение проекций основных точек на горизонтальной оси

последовательности:  $l \rightarrow \gamma \rightarrow \xi \rightarrow Q$ . Расстояние  $l$ , пройденное кормораздаточной тележкой от точки В (рис. 3), приводит к повороту рычага крана на угол  $\gamma$ , при этом изменяется гидравлическое сопротивление  $\xi$  крана. С изменением гидравлического сопротивления крана изменяется расход  $Q$  л/с кормосмеси через кран.

Рассмотрим подробнее процесс взаимодействия упоров кормораздаточной тележки с рычагом крана и определим изменение угла открытия крана от линейного перемещения кормораздаточной тележки.

За начало отсчета примем проекцию на горизонтальную ось точки, в которой встречается верхний упор кормораздаточной тележки с рычагом крана (точка В на рис. 3).

Расстояние, преодолеваемое тележкой для открытия крана:

$$AB = l_p \cdot \cos(\alpha) = 0,127 \text{ м.} \quad (1)$$

где  $l_p$  – длина рычага крана, равная 0,18 м;

$\alpha$  – угол между рычагом крана и горизонталью при полностью закрытом кране равен  $45^\circ$ .

Угол  $\gamma$  поворота крана из исходного положения при открытии будет изменяться от пройденного после соприкосновения упора тележки с краном (рис. 2), расстояния  $l$  кормораздаточной тележкой согласно зависимости

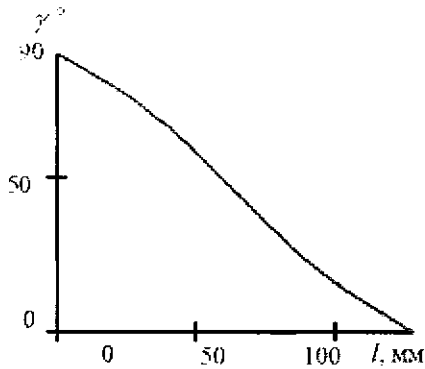
$$\gamma(l) = \frac{-\frac{\pi}{4} + \arctg\left(\frac{l - 0,5 \cdot AB}{0,5 \cdot AB}\right)}{\pi} \cdot 180. \quad (2)$$

Результаты расчетов по зависимости (2), соответствующие расчетным значениям  $\gamma$ , коэффициенты местного сопротивления пробкового крана  $\xi$  [10] и график зависимости  $\gamma(l)$  представлены на рис. 4.

Таким образом, определена однозначная функциональная аналитическая зависимость между координатой тележки  $l$  и углом открытия крана.

Рассмотрим процесс изменения расхода через кран при изменении угла поворота рычага крана.

Будем считать, что жидкость изливается из трубопровода постоянного диаметра  $d=0,032$  м, площадь сечения  $s=8,042 \cdot 10^{-4}$  м<sup>2</sup>. Напор в начале трубопровода равен 40 метров водяного столба, что соответствует давлению  $P=400 \cdot 10^3$  Па. При введении местного сопротивления в виде крана возникают потери напора, обратно пропорциональные коэффициенту  $\xi$ , что приводит к уменьшению скорости течения жидко-



$l, \text{ мм}$	$\gamma, ^\circ$	$\xi$
0	90	$\infty$
19	80	$\infty$
34	70	486
47	60	206
58	50	52,6
69	40	17,3
81	30	5,47
93	20	1,56
108	10	0,29
117	5	0,05
127	0	0

Рис. 4. Результаты расчетов по зависимости (2), соответствующие расчетным значениям  $\gamma$ , коэффициенты местного сопротивления пробкового крана  $\xi$  [10, с. 76] и график зависимости  $\gamma(l)$

сти через трубопровод. Все потери, не связанные с открытием крана, учтем в поправке  $\sigma$ , которая учитывает гидравлическое сопротивление трубопровода. Рассчитаем скорость жидкости по формуле: (3).

$$v_{ж} = \sqrt{\frac{2 \cdot P}{(\xi - \delta) \cdot q}} \quad (3)$$

где  $q$  – плотность жидкости,  $\text{кг/м}^3$ ;  
 $\delta$  – поправка на потери в трубопроводе.  
 Расход жидкости определим по формуле:

$$Q = v_{ж} \cdot s \quad (4)$$

Из опыта наблюдений при полностью открытом кране расход жидкости не превышает  $Q_{\text{max}} = 9,2$  л/с, соответственно  $\sigma = 6,1$ . Исходные данные и результаты расчета по формулам (3), (4) приведены в табл. 1.

Время прохождения тележкой точек пути  $l$ , движущейся со скоростью  $v$ , можно определить по формуле:

$$t = l / v \quad (5)$$

Подставив для нашего случая  $v = 0,1$  м/с, получаем табличную зависимость изменения расхода во время открытия крана. Аппроксимируем полученные табличные данные аналитической зависимостью. После построения по табличным данным графиков и их анализа выбираем аппроксимирующую функцию вида:

$$Q = a \cdot \arctan(b \cdot l - c) + d \quad (6)$$

**1. Исходные данные и результаты расчета по формулам (3), (4)**

Путь $l, \text{ мм}$	Угол $\gamma, ^\circ$	Коэф-т $\xi$	Скорость, $v_{ж}, \text{ м/с}$	Расход, $Q, \text{ л/с}$
0	90	$\infty$	0	0
19	80	$\infty$	0	0
34	70	486	2,3	1,0
47	60	206	1,9	1,6
58	50	52,6	3,7	3,0
69	40	17,3	5,8	4,7
81	30	5,47	8,3	6,7
93	20	1,56	10,2	8,2
108	10	0,29	11,2	9,0
117	5	0,05	11,4	9,2
127	0	0	11,5	9,2

где  $a, b, c, d$  – неизвестные коэффициенты.

Для оценки неизвестных параметров используем метод наименьших квадратов с квази-Ньютоновской процедурой оптимизации, из пакета Statistica [11]. Результаты работы с программой представлены на рис. 5.

Очевидно, площадь под кривой на рис. 5 – это объем жидкости, проходящей через кран при его открытии.

Используя программу Mathcad, проинтегрируем полученное выражение по времени от  $t=0$  до времени полного открытия крана  $t = AB / v = 0,127 / 0,1 = 1,27$  с, получим выданный при открытии крана объем кормосмеси:

$$V = \int_0^{1,27} (3,78 \arctg(4,88t - 3,35) + 4,75) dt = 5,5 \text{ л} \quad (7)$$

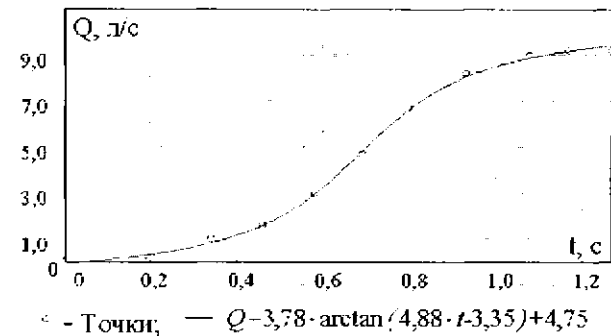


Рис. 5. Найденная аппроксимирующая зависимость и точки табличных данных

Измеренное расстояние  $CE = 0,170$  м (рис. 3), что больше  $AB = 0,127$  м, таким образом, после выдачи заданной по расходомеру дозы кормораздаточная тележка проходит при открытом кране расстояние

$$l_0 = CE - AB = 0,170 - 0,127 = 0,043 \text{ м} \quad (8)$$

и только затем нижний упор 7 (рис. 2) начинает поворачивать рычаг крана в положение «закрыто».

Объем выданной дополнительно дозы определим по формуле:

$$V_0 = Q_{\text{max}} \cdot \left( \frac{l_0}{v} \right) = 9,2 \cdot \left( \frac{0,043}{0,1} \right) = 4,0 \text{ л} \quad (9)$$

Следует учесть, что при закрытии крана тележка также проходит расстояние, равное  $AB$  (рис. 3). Изменение расхода через кран происходит в обратном порядке, т.е. в кормушку дополнительно попадает кормосмесь в количестве, равном определенному при открытии крана.

Суммарная неучтенная доза составит:

$$V_{\Sigma} = 2 \cdot V + V_0 = 2 \cdot 5,5 + 4,0 = 15,0 \text{ л.} \quad (10)$$

Полученный результат достаточно точно совпадает с результатом эксперимента. Таким образом, экспериментально обнаруженное отклонение выдаваемой величины от заданной получило полное теоретическое объяснение при моделировании процесса открытия и закрытия пробкового крана кормораздаточной тележкой. Исходя из полученных результатов, для корректировки работы конкретной системы необходимо учитывать наличие постоянной погрешности, равной:  $\pm 15,0$  литров.

На практике встречаются гидравлические системы с различным максимальным расходом, отличным от  $Q_{\max} = 9,2$  л/с, и кормораздаточные тележки могут двигаться со скоростью, отличной от  $v = 0,1$  м/с. Для внесения правильной поправки при выдаче дозы в кормушку необходимо учитывать эти отличия.

Рассчитаем поправку для максимальных расходов  $Q_{\max}$  л/с по формуле, полученной из выражений (3), (4):

$$\sigma = 2 \cdot P \cdot \left( \frac{s^2}{\rho \cdot Q_{\max}^2} \right) - \xi. \quad (11)$$

Полученные значения сведем в табл. 2.

## 2. Результаты расчета поправки $\sigma$

$Q_{\max}$ , л/с	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
$\sigma$	57,5	32,3	20,7	14,4	10,6	8,1	6,4	5,2

Аналогично приведенному расчету при  $\sigma = 6,1$  рассчитаем значения расхода по формулам (3), (4), подставляя полученные значения коэффициента  $\sigma$ . Результаты расчета сведены в табл. 3.

После преобразования по формуле 5 проинтегрируем каждую полученную табличную функцию по  $l$  на интервале от 0 до 1,27. Сведя в таблицу полученные значения интегралов, получим табличную зависимость  $V_l = f(Q_{\max})$ . Аппроксимировав в Excel полученную табличную зависимость квадратичной функцией, получим результат, приведенный на рис. 6.

## 3. Результаты расчета расхода $Q$ л/с при заданных $l$ и $\sigma$

Расст. $l$ , м	Расход. $Q$ л/с, для различных трубопроводов								
	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,019	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,034	0,976	0,999	1,011	1,017	1,021	1,023	1,025	1,026	
0,047	1,401	1,473	1,511	1,532	1,546	1,555	1,561	1,565	
0,058	2,168	2,468	2,657	2,780	2,862	2,920	2,962	2,993	
0,069	2,630	3,229	3,690	4,042	4,310	4,515	4,674	4,798	
0,081	2,867	3,699	4,447	5,106	5,682	6,179	6,606	6,972	
0,093	2,960	3,907	4,822	5,699	6,534	7,325	8,069	8,765	
0,108	2,992	3,982	4,965	5,940	6,906	7,860	8,803	9,731	
0,117	2,999	3,997	4,994	5,990	6,984	7,975	8,965	9,952	
0,127	3,000	4,000	5,000	6,000	7,000	8,000	9,000	10,000	

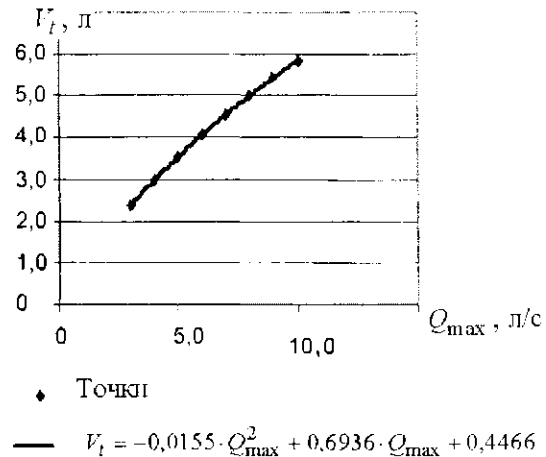


Рис. 6. Результаты аппроксимации в Excel табличной зависимости

Разделив  $V_l$  на  $10 \cdot v$ , получим объем, выдаваемый при открытии крана тележкой, движущейся со скоростью, отличающейся от принятой в расчете. Учитывая все факторы, аналогично с приведенным выше расчетом для  $Q_{\max} = 9,210$  л/с, зависимость для расчета суммарной неучтенной дозы примет вид:

$$V_{\Sigma} = \left( \frac{-15,5 \cdot 10^{-3} \cdot Q_{\max}^2 + 69,4 \cdot 10^{-2} \cdot Q_{\max} + 44,7 \cdot 10^{-2}}{10 \cdot v} \right) \cdot 2 + Q_{\max} \cdot \left( \frac{l_0}{v} \right), \quad (12)$$

где  $Q_{\max}$  — максимальный расход через кран, л/с;

$v$  — скорость тележки, м/с;

$l_0$  — разность расстояния между упорами и расстояния, проходимого тележкой при открытии крана.

Для проверки, подставив в формулу (12) численные значения для частного случая, рассмотренного выше, получим 15,0 литров.

## Вывод

Таким образом, мы получили аналитическую зависимость (12), позволяющую вычислить поправку к заданной дозе при известном максимальном расходе кормосмеси через кран  $Q_{\max}$  и скорости движения тележки  $v$ . Так как скорость движения каждой конкретной тележки постоянна, а максимальный расход через кран можно определить по показаниям расходомера, получившая модель позволяет управляющему контроллеру 5 АСУТПКС (рис. 1) рассчитывать и вносить поправку непосредственно при выдаче в кормушку каждой заданной дозы.

## ЛИТЕРАТУРА

1 Агрпромышленный комплекс (сельское

хозяйство) / Минсельхозпрод Республики Беларусь: под общ. рук. Л.В. Русака. — Минск, 2004. — 1 т.

2 Государственная программа возрождения и развития села на 2005-2010 годы. — Мн.: «Беларусь», 2005. — 96 с.

3 Черник, Г.В. Механизация свиноводческих ферм и комплексов / Г.В. Черник, Л.Г. Хоцко, Л.П. Горшкова. — Л.: Колос. Ленингр. отд-ние, 1981. — 167 с.

4 Рекламный проспект фирмы Bigdutchman [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [http://www.bigdutchman.de/bd\\_infos/produkte/HydroJet-dt.pdf](http://www.bigdutchman.de/bd_infos/produkte/HydroJet-dt.pdf) — Дата доступа 26.06.2006.

5 Павловский, В.А. Из опыта производства свинины в Германии / В.А. Павловский, И.И. Гируцкий // Агроранорама — 1998. — № 3. — С. 24-26.

6 Рекламные проспекты фирмы Weda [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [http://www.weda.de/load\\_suvorlage.asp/ID=123480](http://www.weda.de/load_suvorlage.asp/ID=123480). — Дата доступа 26.06.2006.

7 Рекламные проспекты фирмы Fancor [Электрон-

ный ресурс]. — Режим доступа: [http://www.fancor.com/\\_internet/pages/concepten.php taalCode=UK&nID=3&pID=56&cID=245&rID=245&conceptID=61](http://www.fancor.com/_internet/pages/concepten.php taalCode=UK&nID=3&pID=56&cID=245&rID=245&conceptID=61). — Дата доступа 26.06.2006.

8 Калюга, В.В. Механизация технологических процессов на свиноводческих предприятиях / В.В. Калюга, С.В. Мельников, В.К. Найденко. — М.: Россельхозиздат, 1987. — 208 с.

9 Павловский, В.А. Анализ влияния способов кормления на привесы животных / В.А. Павловский // Агроранорама, 2003. — № 6. — С. 9-13.

10 Карасев, Б.В. Основы гидравлики сельскохозяйственного водоснабжения и канализации / Б.В. Карасев, В.И. Дечев. — Минск: ВШ, 1976. — 368 с.

11 Боровиков, В.П. STATISTICA — Статистический анализ и обработка данных в среде Windows / В.П. Боровиков, И.П. Боровиков. — М.: Информационно-издательский дом «Филинъ», 1998. — 608 с.

УДК 631.31

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 9.09. 2006

## **ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ПОЧВУ ХОДОВЫХ СИСТЕМ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ АГРЕГАТОВ**

А.Н. Орда, докт. техн. наук, доцент, Н.А. Гирейко, инженер (УО БГАТУ)

### Аннотация

*Рассматриваются вопросы воздействия на почву ходовых систем почвообрабатывающих агрегатов. Уделяется внимание образованию и разрушению ядра уплотнения под колесом МТА. Приводится вывод зависимости для определения глубины колеи на почвах с рыхлым верхним слоем и твердым подстилающим основанием. При этом учитываются процессы образования и разрушения ядра уплотнения. В статье приводятся также результаты лабораторных исследований по влиянию влажности и высоты уплотняемого слоя на распределение напряжений при воздействии на почву колесных ходовых систем. Приведена трехфакторная квадратичная модель, полученная в результате обработки опытных данных.*

### Введение

При воздействии на почву колесом с увеличением нагрузки осадка растёт не только из-за уплотнения, но и в результате выдавливания частиц из-под деформатора. Сжатие сопровождается образованием уплотнённой зоны, имеющей форму конуса, основанием которого служит опорная поверхность колеса. Можно предположить, что в определенных условиях напряжения в уплотнённой зоне могут превысить критические и произойдет ее разрушение, которое будет сопровождаться образованием пересуплотнённых почвенных макроагрегатов и дополнительной осадкой колеса, что нежелательно, особенно при предпосевной обработке почвы и посеве.

Рассмотрим деформацию почвы движителем ходо-

вой системы для случая рыхлого верхнего слоя почвы и плотного подстилающего основания при плоском напряжённом состоянии.

Условие предельного напряжённого состояния определяется соотношением между наибольшим касательным напряжением  $\tau$  и нормальной составляющей напряжения  $\sigma_n$ . В общем случае оно имеет вид нелинейной зависимости Мора.

$$\tau = f(\sigma_n).$$

В соответствии с общей теорией напряжений на элементарный кубик почвы действуют главные напряжения  $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ . При этом значение  $\tau$  определяется только напряжениями  $\sigma_1$  и  $\sigma_3$  и не зависит от напряжения  $\sigma_2$  (рис. 1).