

# ВЛИЯНИЕ ПОЧВЕННЫХ УСЛОВИЙ НА ФОРМИРОВАНИЕ МАШИННО- ТРАКТОРНЫХ АГРЕГАТОВ

**И.Н.Шило, докт. техн. наук, профессор, А.Н. Орда, докт. техн. наук, доцент,  
Н.А. Гирейко, инженер, А.Б. Селеши, инженер (УО БГАТУ)**

## Введение

Помимо радикальных средств снижения давления на почву, заключающихся в создании принципиально новых типов ходовых систем, значительного эффекта снижения уплотнения почвы можно добиться путем формирования машинно-тракторных агрегатов, учитывающих тип и состояние почвенного агрофона. Недостаточно разработанное к настоящему времени эксплуатационное направление решения проблемы переуплотнения почвы имеет большие возможности в снижении уровня уплотняющего воздействия МТА. Использование вычислительных возможностей современных компьютеров позволяет оперативно корректировать состав МТА и рекомендовать использование того или иного способа снижения давления на почву.

## Зависимость между урожайностью сельскохозяйственной продукции и затратами на ее производство

Интенсивная технология в растениеводстве может быть рассмотрена как сложная аграрно-техническая система. Сложность системы определяет включение в ее состав частей различной физической природы, взаимодействующих для получения запланированного результата, а также то, что ею нельзя управлять динамически, как трактором, а можно лишь изменять ее параметры – схемы размещения растений, нормы высева семян, нормы внесения химикатов, полива, сроки начала и продолжительности работы.

Наиболее часто агротехнология классифицируется по экономическому принципу, т.е. по уровню затрат на единицу производственной площади. Зависимость урожайность–затраты показана на рис.1, где ось ординат – урожайность, а ось абсцисс – затраты [1].

Участок 1 (см. рис.1) характеризует уровень затрат, при котором никакая технология невозможна, пока не будет в наличии минимально необходимая сумма на приобретение семян, обработку почвы, посев и уборку урожая. Дальнейшее повышение затрат от минимально необходимого уровня до некоторой величины мало влияет на урожайность (участок 2), а затем урожайность начинает значительно возрастать. Урожайность на участке 2 опре-

деляется не столько затратами, сколько биологическим потенциалом сорта и природными условиями. Поэтому участок 2 – это область экстенсивных технологий. На участке 3 зависимость между урожайностью и затратами приближается к линейной (это область интенсивных технологий, при которых затраты на единицу площади возрастают, а на единицу продукции почти не изменяются).

Выбор уровня урожайности на участке 3 определяется соотношением “затраты–цена продукции”: чем выше закупочные цены, тем выше может быть урожайность, обеспечивающая максимальную прибыль. На участке 4 прибавка урожайности на единицу затрат постепенно сокращается, достигая нуля при максимальной урожайности, а затем урожайность падает, т.е. дальнейшее повышение затрат нецелесообразно. Участок 4 – это область высокоинтенсивных (суперинтенсивных) технологий. Максимум урожайности при тех же затратах можно достичь применением наукоемких инновационных приемов и средств. Наукоемкие или высокие технологии позволят при условии получения необходимого количества продукции восстановить и укрепить экологическое равновесие между человеком и природой, особенно нарушенное интенсификацией.

Кривая, характеризующая зависимость между урожайностью и затратами на ее получение, представляет собой S-образную кривую. Такой же характер имеет зависимость между массой растений  $m_t$  и их возрастом  $t$ , выражае-

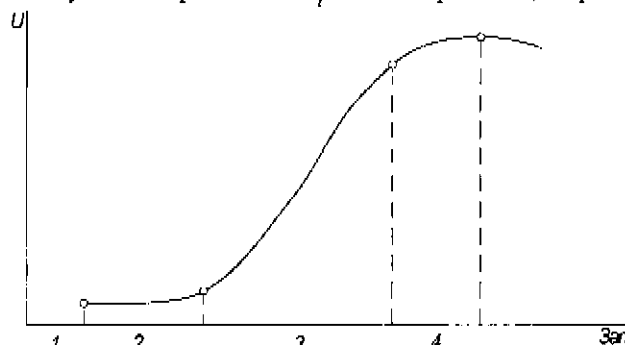


Рис. 1. Зависимость урожайности от затрат при использовании агротехнологий (1-4 – участки)

мым в сутках [2]:

$$m_t = \frac{m_{\max}}{1 + e^{-bt}}, \quad (1)$$

где  $m_{\max}$  – конечная масса отдельного растения;  
 $a$  – параметр, характеризующий массу той части растения, которая находится в почве;  
 $b$  – параметр, характеризующий интенсивность роста растений (чем больше  $b$ , тем интенсивнее протекает рост);  
 $t$  – возраст растения.

На рис. 2 приведена экспериментальная кривая роста культурных растений, хорошо согласующаяся с уравнением (1) [2].

Параметры уравнения (1) зависят от типа культуры, состояния почвы, вида обработок и т.д. Наибольшее влияние на рост растений оказывает плотность почвы.

### Влияние свойств почвы на выбор параметров ходовых систем

Средняя по глубине пахотного слоя допустимая плотность почвы равна [3]

$$\rho_{\text{дон}} = \rho_n \frac{H - 2 \cdot v \cdot h_{\text{дон}}}{H - h_{\text{дон}}}, \quad (2)$$

где  $\rho_n$  – первоначальная плотность почвы, кг/м<sup>3</sup>;  
 $H$  – глубина пахотного слоя, м;  
 $v$  – коэффициент бокового расширения почвы для условий с ограниченной возможностью бокового расширения;

$h_{\text{дон}}$  – допустимая глубина следа колеса, м.

Допустимую глубину следа найдем из зависимости (2)

$$h_{\text{дон}} = H \frac{\rho_{\text{дон}} - \rho_n}{\rho_{\text{дон}} - 2 \cdot v \cdot \rho_n}. \quad (3)$$

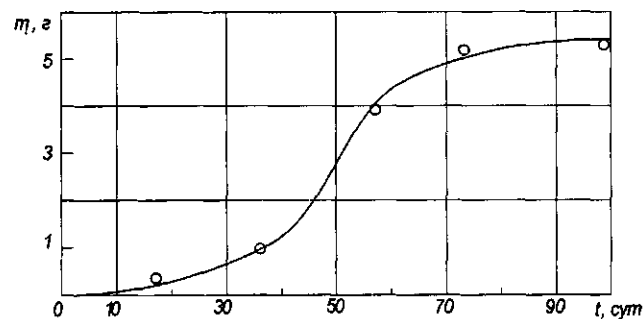


Рис. 2. Экспериментальная кривая роста культурных растений

Допустимое вертикальное сжимающее напряжение

$$\sigma_{\text{дон}} = \frac{a}{b} \operatorname{tg}(a \cdot b \cdot h_{\text{дон}}), \quad (4)$$

где  $a, b$  – коэффициенты, учитывающие свойства по-

чвы, которые находятся по формулам

$$a = \sqrt{k}, \quad b = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{1}{h_{\text{дон}} \sqrt{k}},$$

$k$  – коэффициент объемного смятия почвы, Н/м<sup>3</sup>;

$h_{\text{дон}}$  – предельно возможная деформация почвы, м;

$$h_{\text{дон}} = H \frac{\varepsilon_0 - \varepsilon_{\min}}{(1 + \varepsilon_0)[1 - 2\nu(1 + \varepsilon_{\min})]},$$

$\varepsilon_0$  – коэффициент пористости почвы до нагружения;

нания;

$\varepsilon_{\min}$  – минимально возможный коэффициент пористости.

Допустимое давление колеса на почву определяется с учетом скорости его поступательного движения [3]

$$q_{\text{дон}} = \sigma_{\text{дон}} \left( 1 + \frac{B_v \cdot v}{L_x} \right), \quad (5)$$

где  $B_v$  – коэффициент, зависящий от свойств почвы, учитывающий влияние скорости движения, с;

$v$  – скорость поступательного движения колеса, м/с;

$L_x$  – длина проекции опорной поверхности колеса на горизонтальную плоскость, м.

С учетом найденного значения  $\sigma_{\text{дон}}$  определяется плотность почвы в контакте с колесом и проверяется, находится ли она в диапазоне допустимой плотности

$$\rho_0 = \rho_n \frac{H - 2 \cdot v \cdot h}{H - h} + \frac{k_1 \cdot \sigma_{\text{дон}}}{H - h} \left[ (H - h) + \frac{1}{\beta} (e^{-\beta(H-h)} - 1) \right], \quad (6)$$

где  $k_1 = \frac{\rho_n \cdot \beta}{k}$  – коэффициент уплотнения, кг/(н·м);

$\beta$  – коэффициент распределения напряжений, м<sup>-1</sup>.

Для многоосных колесных ходовых систем допустимое напряжение находится из зависимости

$$h_{\text{дон}} = \frac{1}{a \cdot b} \operatorname{Arc} \cos \left( \frac{n^{-B_1}}{\sqrt{1 + \frac{b^2}{a^2} \sigma_{\text{дон}}^2}} \right), \quad (7)$$

где  $n$  – число уплотняющих воздействий (число движителей, идущих по одному следу).

На рис. 3 приведены зависимости допустимого давления на почву от количества осей ходовой системы в зависимости от типа и состояния агрофона.

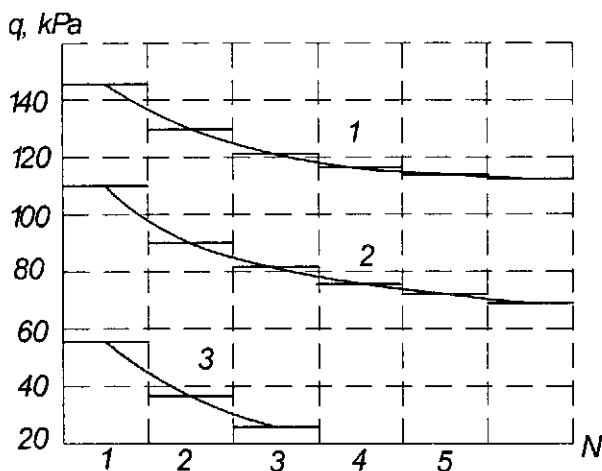


Рис. 3. Допустимые давления колес на почву: 1 – сильно упрочняющаяся почва; 2 – слабо упрочняющаяся почва; 3 – переувлажненная почва

Определив допустимые давления колес на почву, находим размеры колес и их количество в зависимости от массы машины.

Величина проекции на горизонтальную плоскость длины контакта колеса с почвой равна

$$L_x = f \cdot D + \sqrt{D \cdot u}. \quad (8)$$

При получении зависимости (11) была использована формула Ф.А. Опейко, связывающая глубину следа с коэффициентом сопротивления мятию почвы:

$$h = \mu^2 \cdot D,$$

где  $\mu$  – коэффициент сопротивления мятию почвы.

Допущение о равенстве коэффициентов сопротивления качению колеса  $f$  и сопротивления мятию почвы  $\mu$  было принято на том основании, что энергия, затрачиваемая на деформацию почвы, значительно превышает энергию на деформацию шины.

Максимальное давление колеса на почву определяется по формуле

$$q_{\max} = \zeta \frac{G}{v_o B_o L_x}, \quad (9)$$

где  $\zeta$  – коэффициент неравномерности распределения давления;

$G$  – нагрузка на движитель, кН;

$v_o$  – коэффициент бокового расширения шины;

$B_o$  – ширина шины, м.

Задавшись величиной диаметра с помощью зависимостей (8) и (9), находим ширину шины

$$B_o = \frac{\zeta \cdot G}{v \cdot q_{\max} \cdot (f \cdot D + \sqrt{D \cdot u})}. \quad (10)$$

### Формирование машинно-тракторных агрегатов с учетом почвенных условий

При выполнении различных технологических операций по-разному проявляется уплотняющее воздействие ходовых систем МТА. Отличительной особенностью пахотных машинно-тракторных агрегатов является то, что они работают в почвенных условиях, когда плотность верхнего пахотного слоя незначительно отличается от плотности подпахотного слоя (целина, многолетняя залежь, стерня). В данном случае верхний слой почвы имеет низкую поглотительную способность энергии и поэтому уплотняющие воздействия от ходовых систем в значительной мере передаются в нижние необрабатываемые слои почвы.

Передача давлений на почву у гусеничных движителей происходит через опорные катки и гусеничную ленту. Характер накопления осадки почвы под опорными катками такой же, как и многоосных колесных систем. При использовании тракторов с узкими гусеницами напряжения концентрируются в пахотном слое. Поэтому при формировании пахотных машинно-тракторных агрегатов предпочтение следует отдавать гусеничным тракторам и тяговым средствам с многоосной колесной системой.

При формировании посевных машинно-тракторных агрегатов следует исходить из того, что почва, подготовленная под посев, обладает высокой способностью поглощения энергии, или высокой распределительной способностью (имеет большие значения коэффициента распределения напряжений). В данном случае вертикальная нагрузка воспринимается, в основном, пахотным взрыхленным слоем почвы.

Основной задачей для посевных МТА является снижение давления на почву. Следует также учитывать установленный исследованиями факт значительного прироста глубины следа и плотности почвы при повторных проходах колес. Поэтому с целью снижения давления на почву рекомендуется увеличивать размеры колес, а не количество колес, движущихся по следу друг за другом. Таким образом, для посевных агрегатов рекомендуется устанавливать двоярные шины на тракторах и сеялках, применять шины больших размеров, особенно высокоэластичные.

Машинно-тракторные агрегаты для внесения удобрений в почву имеют тенденцию к увеличению грузоподъемности и обладают высоким давлением на почву. При их работе на переувлажненных почвах поздней осенью или ранней весной можно допустить, что свойства почвы по глубине одинаковы и расчет глубины следа и уплотнения почвы следует вести по зависимостям

$$h_n = \frac{P_o}{k} (1 + k_u \cdot \lg n) \cdot \text{Arth} \left( \frac{\sigma}{P_o} \right), \quad (11)$$

$$\left(\frac{\rho_0}{\rho_1}\right)_n = \frac{\beta}{k} \text{Arch} \frac{\xi \cdot G}{F_k \cdot n} (1 + k_n \cdot \lg n), \quad (12)$$

где  $\rho_0$  – предел несущей способности почвы; Па;  
 $k_n$  – коэффициент накопления повторно осаживающихся, слабо упрочняющихся почв;  
 $\sigma$  – напряжение в контакте “двигатель-почва”; Па;  
 $\xi$  – коэффициент распределения давлений под опорной поверхностью колеса;  
 $G$  – нагрузка на двигатель; Кн;  
 $F_k$  – площадь пятна контакта движителя с почвой, м<sup>2</sup>.

Для машин небольшой грузоподъемности допустимого давления на почву можно добиться с помощью сдвигания колес, установки колесно-гусеничного движителя или применив сверхнизкое давление (ШСНД). Для машин большой грузоподъемности снижать давление на почву целесообразно с помощью увеличения числа осей ходовой системы.

Обобщенные рекомендации по формированию МТА приведены в табл.1.

### 1. Рекомендации по формированию МТА

Тип МТА	Рекомендуемый трактор и приспособления к ходовым системам	Примечания
Посевной	Колесный; сдвоенные шины с давлением воздуха $\rho_w = 60 - 80$ кПа	При влажности $W=0,9-1,0$ НВ применяются приспособления к колесам
Пахотный	Гусеничные тракторы; тракторы с многоосным колесным ходом	
Для работы в междурядья	Универсальный пропашной трактор	При влажности $W=0,9-1,0$ НВ применяются сдвоенные колеса
Для внесения удобрений	Многоосный колесный ход с широкопрофильными шинами	При влажности $W=0,9-1,0$ НВ применяются приспособления к колесам
Транспортный	Многоосный колесный ход	

#### Использование компьютерных технологий для принятия решений по выбору ходовой системы

Формирование структурных подсистем-комплексов, из которых и складывается собственно технология, ведется с учетом выбранных функциональных подсистем и их технологических параметров таким образом, чтобы сочетание технологических операций и подбор машин для них по каждому комплексу обеспечивали наименьшие затраты расходуемых ресурсов при высоком качестве работ и проведении их в наиболее благоприятные и короткие сроки.

Для максимального приспособления ресурсосберегающих технологий возделывания сельскохозяй-

ственных культур к условиям их применения нужна точность принятия решений, чего затруднительно добиться по результатам полевых опытов. Эти результаты необходимо дополнить компьютерными технологиями, предназначенными для решения двух классов задач: формирование технологий на основе системообразующих признаков, характеризующих условия их применения; адаптация технологий к условиям поля и хозяйства для их непосредственного применения. Компьютеризация принятия решений при разработке и применении новых технологий в растениеводстве обеспечит, с одной стороны, максимальный учет местных природных условий для получения гарантированного урожая и, с другой стороны, сведет к минимуму вредные экологические последствия внедрения новой технологии.

Учитывая сложность процессов, происходящих в почве, которые затрудняют математическое моделирование ее свойств, для экспресс-оценки свойств почв можно использовать ручные пенетрометры (тестеры). Достоинствами данных приборов являются их компактность, низкая стоимость и высокая оперативность при определении свойств почвы. Тестером можно оперативно определить ее механические свойства и с помощью предложенных закономерностей уплотнения почвы оценить

уровень воздействия тракторов на почву. Эффективность разработки рекомендаций значительно возрастает при использовании персональных ЭВМ.

Из всех операций почвообработки наиболее существенно влияет на урожай подготовка почвы под посев. Поэтому для машинно-тракторных агрегатов, участвующих в подготовке почвы под посев и посеве культурных растений, важно обеспечить режимы эксплуатации, обеспечивающие допустимый уровень воздействия на почву. Регулировать давление ходовых систем на почву можно с помощью изменения давления воздуха в шинах, сдвигания колес, выбора скорости движения. Использование ЭВМ позволяет значительно ускорить процесс принятия решений, что является неоспоримым преимуществом, так как предпосевная обработка и посев,

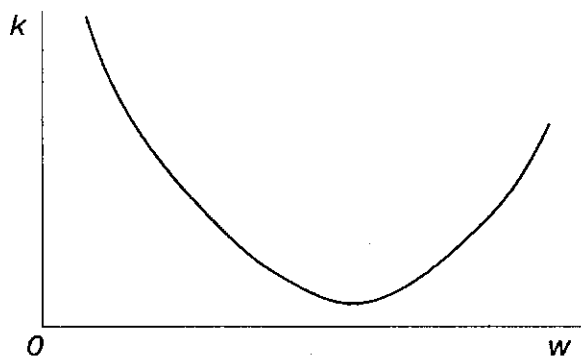


Рис. 4. Зависимость удельного сопротивления рабочих органов ( $k$ ) от влажности почвы ( $w$ )

произведенные в оптимальные сроки, позволяют снизить эксплуатационные затраты на проведение операций, улучшить качество обработки почвы и в результате увеличить урожайность. Так, зависимость удельного сопротивления почвы рабочему органу от влажности почвы имеет вид вогнутой кривой [4] (рис. 4), и оптимальная влажность сохраняется в почве в течение непродолжительного периода времени.

На рис.5 показан алгоритм (блок-схема) выбора МТА с допустимым воздействием ходовой системы на почву. Условием выбора ходовой системы является выполнение соотношения  $\rho \leq \rho_{доп}$ .

Рассмотрим формирование посевного машинно-тракторного агрегата на базе колесного трактора. Вначале рассчитываются глубина следа и плотность почвы под воздействием трактора с серийной ходовой системой и нормативных режимах нагружения. Если расчетная плотность почвы в следе превышает оптимальную, то первоначально уменьшается давление воздуха в шинах до 60-80 кПа. На вводе корректируются параметры, отражающие жесткостные и деформационные характеристики шин. Если после этого не будет выполняться соотношение  $\rho \leq \rho_{доп}$ , то применяется сдвиг шин. Для переувлажненных почв в случае необходимости выполнения указанного выше соотношения можно будет добиться совместным использованием приемов сдвигания шин и снижения давления воздуха в них.

### Выводы

Анализ зависимостей, описывающих развитие напряжений и деформаций, создаваемых двигателями, показал, что при формировании пахотных машинно-тракторных агрегатов предпочтение следует отдавать гусеничным тракторам и тяговым средствам с многоосной колесной системой, а при формировании посевных машинно-тракторных агрегатов следует исходить из того, что почва, подготовленная под посев, обладает высокой способностью поглощения энергии, и поэтому с целью

уменьшения глубины колеи в этом случае рекомендуется устанавливать сдвоенные шины и применять шины больших размеров.

Для экспресс-оценки состояния почвенного фона и принятия решения по выбору ходовой системы можно использовать тестеры с последующей обработкой полученных данных с помощью ЭВМ по предложенному алгоритму.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Шило И.Н., Дашков В.Н. Ресурсосберегающие технологии сельскохозяйственного производства. - М.: БГАТУ, 2003. - 183 с.
2. Сакун В.А. Использование показателей роста растений для обобщенной оценки качества обработки почвы и прогнозирования урожая. Вестник сельскохозяйственной науки, №8, 1980. - С. 37-40.
3. Орда А.Н. Эколого-энергетические основы формирования машинно-тракторных агрегатов // Дисс. на соиск. уч. степени д.т.н. - Мн.: 1997. - 256 с.
4. Ревут И.Б. Физика почв.- Л.: Колос, 1972. - 368 с.

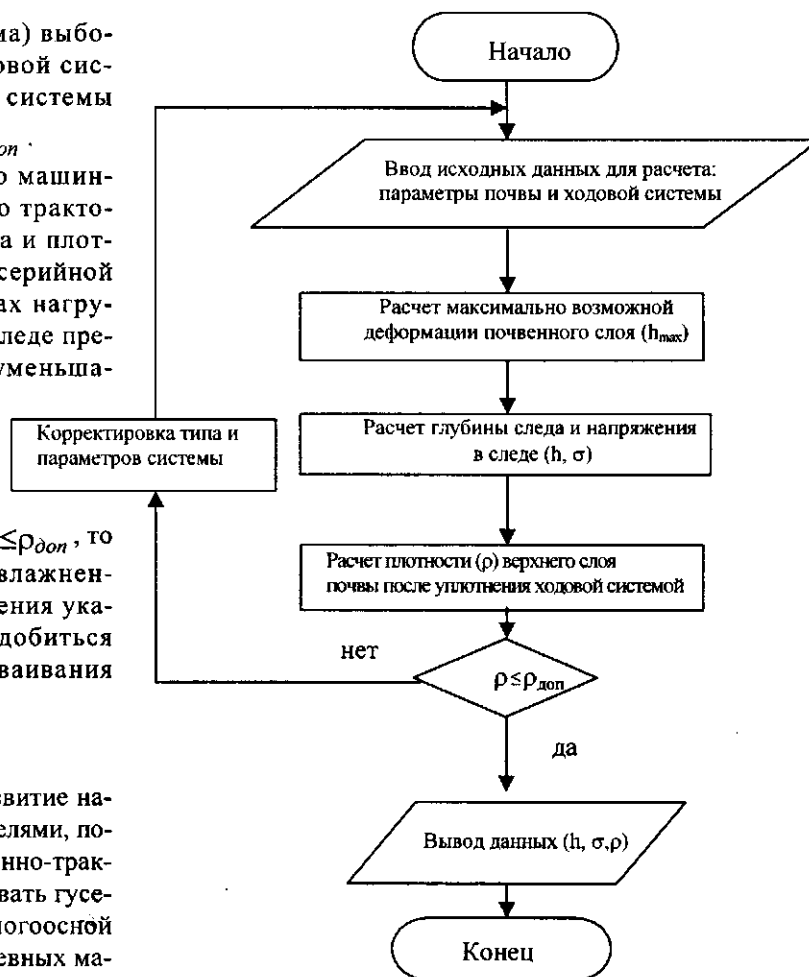


Рис.5. Блок-схема алгоритма выбора ходовой системы МТА с допустимым воздействием на почву

# ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНОЙ ПЛАЗМОХИМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ДЫМНОСТИ И ТОКСИЧНОСТИ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

А.Н. Карташевич, докт. техн. наук, профессор, А.В. Кравец, аспирант (УО БГСХА)

Рост парка автотракторных двигателей, увеличение единичных мощностей и расширение сферы их применения приводит к увеличению загрязнения атмосферы токсичными веществами отработавших газов (ОГ).

Одним из направлений повышения экологических показателей дизельных двигателей является разработка и применение специальных средств по дополнительной очистке ОГ от токсичных компонентов в процессе выпуска.

Электрофизическая очистка ОГ дизельных двигателей является приоритетным направлением теоретических и экспериментальных исследований по разработке систем снижения токсичности. Сущность электрофизической очистки заключается в использовании электромагнитной энергии для воздействия на поток ОГ с целью изменения качественных и (или) количественных характеристик ОГ [1, 2].

Являясь устройством прямого преобразования энергии, плазмореактор при незначительном энергокладе позволяет осуществлять высокую степень очистки ОГ как от твердых частиц, обеспечивая тем самым эффективное снижение дымности, так и от газообразных токсичных компонентов [3].

Плазмохимический способ очистки ОГ дизельных двигателей имеет следующие преимущества: незначительное газодинамическое сопротивление плазменных газоочистителей и его независимость от времени наработки устройства; возможность использования плазмореактора в качестве газоочистителя и глушителя шума; отсутствие сменных элементов конструкции, подлежащих утилизации.

Стендовые моторные испытания плазмореактора для оптимизации энергетических параметров при различных режимах питания и для определения эффективности очистки ОГ на данных режимах проводились на одноцилиндровом дизельном двигателе СН-6Д (рабочий объем 0,375 дм<sup>3</sup>, мощность 4,4 кВт).

Исследования проводились на различных скоростных режимах работы при изменении напряжения на электродной системе до пробойного. Потребляемая мощность от источника питания при этом не превышала 150 Вт,

температура ОГ  $t_{ог} = 130...330^{\circ}\text{C}$ , номинальный расход  $G^V_{ог} = 45 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Различные значения дымности устанавливались посредством изменения нагрузочного режима работы двигателя.

На рис. 1 представлена зависимость степени очистки от величины содержания сажи в ОГ дизеля СН-6Д при фиксированном уровне напряжения на электродах.

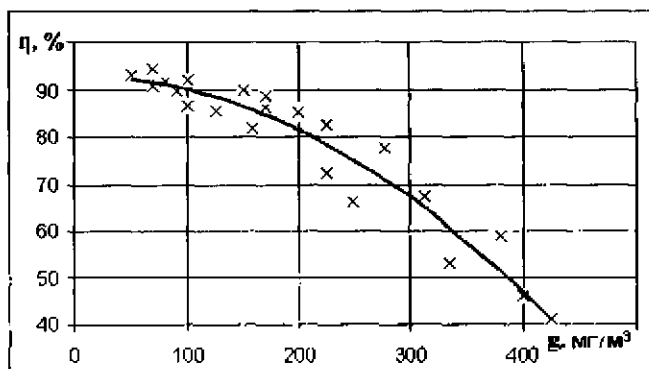


Рис. 1. Зависимость степени очистки от величины содержания сажи в ОГ дизеля СН-6Д

Как видно из приведенных данных, кривая линии тренда, описывающая зависимость степени очистки от величины сажесодержания, является монотонной для всего исследуемого диапазона изменения дымности ОГ. Такой вид кривой, очевидно, будет характерен для электроразрядных систем, у которых очистка ОГ посредством электростатических сил значительно преобладает над инерционной, либо последняя вообще отсутствует [1, 2]. Снижение степени очистки по мере увеличения значения величины сажесодержания объясняется тем, что при некоторой ее постоянной величине, которую способно обеспечить данное устройство при данном режиме питания разряда, увеличение сажесодержания в ОГ приводит и к увеличению количества сажи в очищенных газах. Данное обстоятельство свидетельствует о необходимости увеличения рабочего напряжения или размеров электродной системы. Кроме того, при недостаточно развитой коро-