



**РАМАЗАНОВ Абдулкадир Гаджиевич**

**ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ УБОРКИ  
САХАРНОЙ СВЕКЛЫ И УСЛОВИЙ ЭФФЕКТИВНОГО  
ПРИМЕНЕНИЯ НАВЕСНОГО ВИБРАЦИОННОГО  
СВЕКЛОКОПАТЕЛЯ КВС-6**

Специальность 05.20.01 – Технологии и средства механизации  
сельского хозяйства

**А В Т О Р Е Ф Е Р А Т**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

**Мичуринск 2003**

Работа выполнена в Государственном научном учреждении "Всероссийский научно-исследовательский и проектно-технологический институт по использованию техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве (ГНУ ВИИТиН)"

Научный руководитель      доктор технических наук,  
старший научный сотрудник  
**Тырнов Юрий Алексеевич**

Официальные оппоненты:      доктор                      технических                      наук,                      профессор  
**Рыбалко Александр Григорьевич**

кандидат технических наук, профессор  
**Хмыров Виктор Дмитриевич**

Ведущая организация      Открытое акционерное общество

Казанское опытное  
конструкторское бюро "Союз"  
(г. Казань)

Защита диссертации состоится 19 декабря 2003 года в 12 часов на заседании диссертационного совета К220.041.01 Мичуринского государственного аграрного университета по адресу: 393760, Тамбовская область,  
г. Мичуринск, ул. Интернациональная, д. 101, зал заседаний диссертационного совета.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Мичуринского государственного аграрного университета.

Автореферат разослан 18 ноября 2003 года

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
к.т.н., доцент



*Н.В. Михеев*

---

---

Подписано в печать 14.11.2003

Формат 60 × 84 / 16. Гарнитура Times New Roman.

Бумага офсетная. Печать офсетная. Объем: 1,16 усл. печ. л.; 1,0 уч.-изд. л.

Тираж 100 экз. С. 767<sup>М</sup>

Издательско-полиграфический центр  
Тамбовского государственного технического университета  
392000, Тамбов, Советская, 106, к. 14

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Сахарная свекла – ценнейшая культура. Процесс ее уборки сложен и требует огромных затрат энергии. Несовершенство рабочих органов (копачей) и слабая их приспособленность к работе в сильноизменяющихся почвенных условиях, обуславливает большую вероятность возникновения значительных потерь и ухудшение кондиционных свойств корней из-за их повреждений.

Существующие конструктивно-технологические решения свеклоуборочных машин не обеспечивают, кроме того, достаточной производительности. Растягиваются сроки уборки, и в отдельные неблагоприятные периоды значительная часть урожая может быть невозвратно потеряна.

В связи с этим повышение эффективности уборки сахарной свеклы применением новых вибрационных машин является актуальной научной задачей, а с учетом объемов производства сахарной свеклы, ее решение имеет важное народнохозяйственное значение.

Работа выполнена в Государственном научном учреждении "Всероссийский научно-исследовательский и проектно-технологический институт по использованию техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве" (ГНУ ВИИТиН) в соответствии с заданиями Россельхозакадемии на 2001 – 2003 гг.: 04.02.03 "Провести исследования и разработать методы и средства агрегатирования сельскохозяйственных машин с тракторами, определить рациональные режимы их использования", приказом Министерства сельского хозяйства РФ № 91 от 02.02.2001 "О пилотных проектах".

**Цель работы:** повышение производительности, снижение потерь продукции и энергозатрат при уборке корней сахарной свеклы, оптимизацией кинематических параметров и режимов работы вибрирующих копачей.

**Предмет исследований:** навесные копатели корней сахарной свеклы, КВС-6, оборудованные вибрирующими копачами и агрегируемые с тракторами ЛТЗ-155.

**Объект исследований:** закономерности развития деформационных процессов в почвах под действием вибрации и их взаимосвязи с критериями энергозатрат и качества работ.

**Методика исследований.** Для достижения поставленной цели и решения комплекса задач применялись теоретические и экспериментальные методы исследований.

В качестве основных методик применялись: методы оптимизации, математического моделирования, агротехнической и энергетической оценки машин, теории вероятностей и математической статистики, хронометражные наблюдения.

Экспериментальные исследования проводились в лабораторных и производственных условиях по специальным методикам, при разработке которых использованы методы планирования многофакторного эксперимента и действующие стандарты. В исследованиях применялись современные измерительные средства и аппаратура. Статистическая обработка экспериментального материала и исследования математических моделей проводились на компьютерах.

**Достоверность** научных положений, выводов подтверждена лабораторно-полевыми и хозяйственными испытаниями свеклокопателя КВС-6. Теоретические исследования выполнены с применением современных компьютеров, а их результаты хорошо согласуются с экспериментальными данными.

**Научная новизна диссертации** заключается в комплексном подходе к решению вопроса повышения эффективности использования свеклоуборочных МТА за счет совершенствования кинематики рабочих органов, анализе и обобщении теоретических положений и экспериментальных исследований, в результате которых:

- предложен способ повышения эффективности использования свеклоуборочных машинно-тракторных агрегатов;
- обоснованы режимы эффективного использования вибрационного копателя КВС-6 с учетом состояния почвенных условий;
- разработаны математические модели определения затрат мощности, тягового сопротивления свеклокопателя и возникающих повреждений корней сахарной свеклы копачами при различных режимах работы и состояниях почвы;
- уточнены исходные требования на проектирование вибрационного копателя с возможностью регулирования режимов работы в широком диапазоне.

**Практическая ценность работы.** Применение вибрационного метода извлечения корней позволяет снизить сопротивление рабочих органов копателя на 30 ... 40 % при сокращении повреждений и потерь корнеплодов.

**Пути реализации работы.** Результаты исследований рекомендуются заводам изготовителям свеклоуборочных машин и тракторов; вузам, ведущим подготовку инженеров-механиков сельскохозяйственного производства, для изучения вопросов применения вибрационных рабочих органов машин с целью интенсификации технологических процессов; специалистам хозяйств, занятых использованием свеклоуборочных агрегатов для их настройки на оптимальные режимы с учетом состояния почв в период уборочных работ.

**Внедрение.** Результаты диссертационных исследований внедрены:

- на Казанском ОКБ "Союз" при проектировании копателей сахарной свеклы типа КВС-6;
- на Котовском ОАО "Алмаз" при разработке навесного копателя для комбайна КС-6Б в целях модернизации;
- рекомендованы Департаментом технической политики Минсельхоза России к использованию в хозяйствах Центрального Федерального округа России;
- при разработке рекомендаций по эффективному использованию МТА на уборке сахарной свеклы.

**На защиту выносятся** следующие научные положения:

- методический подход к решению проблемы повышения эффективности использования свеклоуборочных МТА на основе применения принципов вибрации и оптимизации режимов работы рабочих органов с учетом физико-механических и реологических свойств почвы;
- математические модели определения затрат мощности, тягового сопротивления навесного свеклокопателя и возникающих повреждений корней сахарной свеклы копачами при различных режимах их работы, состояниях почвы и скорости движения агрегата;
- результаты сравнительных показателей потерь и эксплуатационно-технологической оценки работы свеклоуборочных агрегатов и машин с вибрирующими и пассивными копачами.

**Апробация работы.** Основные материалы диссертации доложены и одобрены:

- на заседаниях Ученого совета Государственного научного учреждения "Всероссийский научно-исследовательский и проектно-технологический институт по использованию техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве (ГНУ ВИИТиН)" в 2001 – 2003 гг.;
- на заседаниях научно-технического совета Казанского ОКБ "Союз" в 2001 – 2002 гг., ОАО "Липецкий тракторостроительный завод", ОАО "Алмаз" в 2002 – 2003 гг.;
- на научно-практических конференциях Воронежского ГАУ, Мичуринского ГАУ в 2002 – 2003 гг.;
- на заседании Департамента технической политики Минсельхоза России 2002 – 2003 гг.

**Публикации.** Основные материалы исследований обобщены и изложены в 9 работах, в том числе в двух монографиях объемом 3,4 и 3,7 печ. л., двух брошюрах (8,8 печ. л.) и книге (13,8 печ. л.), написанных в соавторстве и 3 публикациях в центральной печати, в изданиях рекомендуемых ВАК, информационном листке. Общий объем публикаций составляет 31,7 печ. л., из них лично автору принадлежат – 14,4.

**Структура и объем работы.** Диссертация изложена на 158 страницах машинописного текста, состоит из введения, пяти разделов, общих выводов по работе, списка литературы и 18 приложений. Содержит 17 таблиц и 31 рисунок. Список использованной литературы включает в себе 156 наименований, из них 2 на иностранном языке.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** показана актуальность темы, сформулированы цель исследований, объект и предмет исследований, научная новизна. Представлены основные положения, выносимые на защиту.

В **первом разделе** приводится анализ конструкций рабочих органов для извлечения корней сахарной свеклы, результатов исследований в области вибрационного воздействия на обрабатываемый материал, обзор исследований в области применения вибрационных рабочих органов в сельскохозяйственной практике и отмечается целесообразность применения вибрирующих копачей для уборки корней сахарной свеклы по критериям качества работ и ресурсосбережения. Сформулированы задачи исследований.

Значительный вклад в теорию и практику использования эффекта вибрации в технологических процессах, выполняемых сельскохозяйственными машинами в различных почвенно-климатических условиях внесли работы В.П. Горячкина, П.М. Василенко, Д.Д. Баркан, В.А. Желиговского, А.А. Дубровского, Г.Н. Синеокова, П.Н. Бурченко, Н.В. Краснощекова, Р.М. Зоненберга, Т.Э. Свирского и др. Приме-

нительно к технологическому процессу уборки корней сахарной свеклы огромную важность имеют работы Г.Н. Гряника, В.И. Дзюбы, А.А. Дубровского, В.В. Брея, Л.В. Погорелова, А.Г. Цымбала и др.

Исследователями отмечается, что эффективность процесса извлечения корней сахарной свеклы из почвы возрастает при нарушении их связей с почвой. Вибрационные и импульсные воздействия наиболее интенсивно создают волны напряжения, способствующие активному развитию деформационных процессов в почве, и в последние годы широко используются в конструкциях свеклоуборочных машин. Деформация почв связывается с частотой, амплитудой и массой вибратора, удельным сопротивлением, плотностью, вязкостью, упругостью почв и скоростью движения машин на основе отождествления поведения почв реологическими моделями. При исследованиях наиболее широко использованы модели идеальных изотропных упругих (линейных и нелинейных), упругопластических и вязкопластических сред.

Задачи динамики дисперсных сред не могут быть решены в рамках этих моделей, что подтверждается значительными противоречивыми эффектами (положительными и отрицательными), полученными при применении вибрации. Применительно к почвам различной влажности целесообразно применение более сложных моделей. Исследования выполнены в очень узком диапазоне изменений действующих факторов, а результаты носят феноменологический характер и базируются, в большинстве своем, на экспериментальных исследованиях. Обобщений до уровня строгих математических моделей крайне мало. В связи с чем выбор режимов эффективного использования свеклоуборочных машин невозможен.

В соответствии с поставленной целью выдвигаются следующие задачи исследований:

- исследовать и идентифицировать взаимосвязи параметров и режимов работы вибрирующих копачей с повреждениями и потерями корнеплодов, затратами мощности при уборке сахарной свеклы в изменяющихся условиях их применения;
- обосновать основные принципы повышения эффективности применения вибрационных свеклокопателей и дать теоретическое обоснование их параметров;
- исследовать закономерности изменения критериев качества и энергозатрат с применением вибрирующих копачей;
- провести производственную проверку разработок в технологических процессах уборки сахарной свеклы, дать технико-экономическую оценку.

Во **втором разделе** приведена рабочая гипотеза повышения эффективности технологического процесса уборки сахарной свеклы машинами с вибрирующими копачами по критериям качества работ и ресурсосбережения, изложены теоретические предпосылки к обоснованию оптимальных условий их применения в технологии уборки сахарной свеклы.

Охарактеризуем возможное снижение энергоемкости уборки корней сахарной свеклы ( $\delta_N$ ) и потерь (повреждений) корнеплодов ( $\delta_{\Pi}$ ), повышение производительности ( $\delta_W$ ) выражениями вида

$$\delta_N = \frac{N_2}{N_1} = \frac{P_2 v_{P_2}}{P_1 v_{P_1}}, \quad \delta_{\Pi} = \frac{\Pi_2}{\Pi_1} \quad \text{и} \quad \delta_W = \frac{W_2}{W_1}, \quad (1)$$

где  $N_1, N_2$  – затраты мощности в сравниваемых вариантах;  $\Pi_1, \Pi_2$  – потери (повреждения) корнеплодов в указанных вариантах;  $P_2, P_1$  – тяговое сопротивление;  $v_{P_1}, v_{P_2}$  – скорости движения агрегатов;  $W_1, W_2$  – производительность агрегата.

Повышение производительности возможно на основе повышения ширины захвата (рядности машин, например с 6 до 12), увеличением коэффициента использования времени смены и скорости движения.

Скорость движения определяет производительность уборочного агрегата. Поэтому в ходе дальнейших теоретических исследований проанализированы факторы, ограничивающие скорость движения агрегата.

На основании аналитических исследований можно утверждать, что скорость движения ( $v$ ), а равно и производительность свеклоуборочного агрегата ограничивается пропускной способностью рабочих органов машины и очистителей, а также тягово-сцепными свойствами энергосредства

$$\frac{q_b K}{(U_6 - \Pi) m_a (\lambda \varphi_{сц} - f) \eta_{кр}} \leq \frac{q_0}{m_{кп} B_{оч} Z \xi}, \quad (2)$$

где  $m_a$  – масса трактора, кг;  $\lambda$  – коэффициент сцепления, учитывающий изменение вертикальной нагрузки на ведущие органы энергосредства (сцепного веса энергосредства);  $\varphi_{сц}$  – коэффициент сцепления, реализуемый двигателем энергосредства по условиям взаимодействия его с почвой;  $f$  – коэффициент сопротивления передвижению;  $K$  – удельное тяговое сопротивление уборочной машины, кН/м;  $\eta_{кр}$  – коэффициент использования тяговой мощности энергосредства;  $q_0$  – пропускная способность очистителя, кг/с;  $m_{кп}$  – масса корнеплодов, расположенных в один слой, кг/м<sup>2</sup>;  $B_{оч}$  – ширина рабочей поверхности очистителя, м;  $Z$  – количество очистителей, шт.;  $\xi$  – коэффициент использования ширины очистительной поверхности рабочего органа;  $U_6$  – урожайность убираемой культуры, т/га;  $\Pi$  – потери корнеплодов;  $q_b$  – секундное поступление корнеплодов, почвы и прочих примесей, кг/с.

Удельное сопротивление рабочих органов и затраты мощности можно снизить применением вибрирующих копачей. Применение вибрационного воздействия, кроме того, повышает степень отделения почвы от корнеплодов и способствует дальнейшему снижению затрат мощности на транспортирование корнеплодов. Целесообразным и эффективным, по нашему мнению, является направление по созданию навесных машин.

Схема навесного виброкопателя КВС-6 представлена на рис. 1.

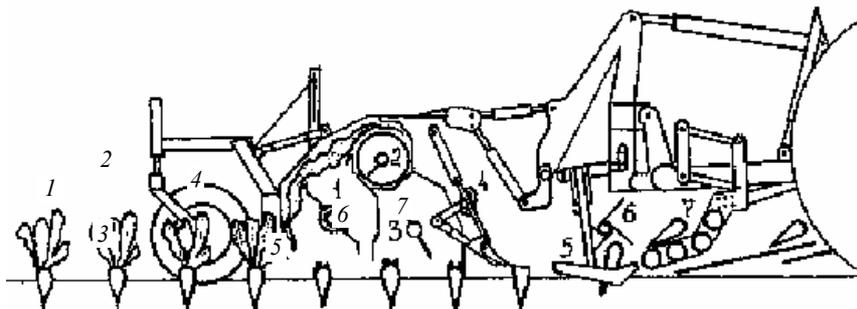


Рис. 1 Схема навесного виброкопателя КВС-6:

1 – ботвоудалитель; 2 – шнек; 3 – очищающий вал; 4 – дообрезчик;  
5 – виброкопачи; 6 – транспортирующий вал; 7 – валковый механизм

Вибрационные копачи представляют собой сварную конструкцию, оканчивающуюся лемехами для выдавливания корнеплодов из земли. Вибрация копачей осуществляется при вращении эксцентриков на валу и взаимодействия их с опорами. Копачи на маятниковой раме имеют возможность поперечного перемещения относительно направления движения агрегата.

Привод виброкопачей, ботвосрезающих, транспортирующих, очищающих устройств осуществляется от ВОМ трактора.

Сравнительному анализу подвергнута работа пассивных и вибрирующих в продольно-вертикальном направлении копачей. Изначально предполагая, что потребляемая мощность при использовании вибрирующих копачей ниже, чем у пассивных.

$$N'_e + N'_{\text{ВОМ}} < N_e + N_{\text{ВОМ}}, \quad (3)$$

где  $N'_e$ ,  $N_e$  – мощность, расходуемая на преодоление сопротивлений почвы передвиганию комбайна с вибрирующими и пассивными копачами, соответственно;  $N'_{\text{ВОМ}}$ ,  $N_{\text{ВОМ}}$  – мощность, соответственно, передаваемая ВОМ трактора на привод рабочих органов комбайна с вибрирующими и пассивными копачами.

Мощность, расходуемую на преодоление сопротивлений почвы резанию и передвижение комбайна с пассивными копачами, выразится известным уравнением:

$$N_e + N_{\text{ВОМ}} = f G_T v_p + R_m v_p + G_T \varphi_{\text{сц}} v_p \delta + [k S + m g \operatorname{tg}(\alpha + \varphi) + \varepsilon S \rho v_p^2] v_p + M_T \omega_T i_T + M_0 \omega_0 i_0 + M_6 \omega_6 i_6, \quad (4)$$

где  $k$  – удельное сопротивление орудия;  $S$  – площадь поперечного сечения пласта;  $G_T$  – масса трактора;  $f$  – коэффициент сопротивления перекатыванию;  $m$  – масса пласта;  $v_p$  – скорость движения агрегата;  $\alpha$  – угол наклона лемеха;  $\varphi$  – угол трения почвы о материал рабочего органа;  $\varepsilon$  – коэффициент, характеризующий тип лемеха;  $\delta$  – буксование;  $R_m$  – сопротивление агрегата;  $M_6$ ,  $M_T$ ,  $M_0$  – крутящие моменты на привод ботвоудалителя, транспортирующих и очищающих устройств, соответственно;  $\omega_6$ ,  $\omega_T$ ,  $\omega_0$  – частота вращения соответственно валов ботвоудалителя, транспортирующих и очищающих устройств;  $i_6$ ,  $i_T$ ,  $i_0$  – передаточные отношения;  $\rho$  – плотность почвы.

Баланс мощности свеклоуборочного агрегата, состоящего из трактора и навесного вибрационного копателя КВС-6 с учетом основных положений механики грунтов, параметров копача и предпо-

ложений, что движение рабочего органа осуществляется по синусоидальному закону, выразится уравнением

$$N'_e + N'_{\text{вом}} = f G_T v_p + R_M v_p + G_T \varphi_{\text{сц}} v_p \delta + v_p (m + v_1 S_k) \sin \omega t + \\ + \sigma_p S_{\text{уд}} v_p \sin \omega t + \tau S_{\text{лоб}} v_p \sin \omega t + \tau S_{\text{лем}} v_p \sin \omega t + \\ + M_1 \omega_1 i_T + M_0 \omega_0 i_0 + M_6 \omega_6 i_6, \quad (5)$$

где  $m$  – масса извлекаемых корнеплодов;  $S_k$  – площадь поверхности корнеплодов;  $v_1$  – коэффициент сцепления корнеплода с почвой;  $\varphi_{\text{сц}}$  – коэффициент сцепления движителей трактора с почвой;  $\sigma$  – нормальные напряжения почвы;  $S_{\text{уд}}$  – площадь копачей, участвующих в ударном воздействии;  $\tau$  – касательные напряжения сдвига;  $S_{\text{лоб}}$  – площадь лобового сечения лемешков;  $S_{\text{лем}}$  – площадь боковой поверхности лемешков, участвующих в продольном сдвиге почвы.

Касательные и нормальные напряжения связаны уравнениями

$$\tau = c + \sigma \operatorname{tg} \varphi \quad \text{или} \quad \tau = c + f_1 \sigma, \quad (6)$$

где  $C$  – коэффициент внутреннего сцепления почвы;  $f_1 = \operatorname{tg} \varphi$  – коэффициент внутреннего трения.

При определенном значении частот колебаний, трение в грунтах может настолько уменьшиться, что грунты приобретают свойства вязкой жидкости (вибровязкость) с внутренним трением близким к нулю, и с ничтожной несущей способностью. Так, при влажности песчаных грунтов  $W = 6 \dots 8 \%$  и  $W > 18 \%$  вибровязкости грунтов минимальна. В связи с этим при  $\tau \rightarrow \min$ ,  $\sigma \rightarrow \min$  следует ожидать существенного снижения затрат мощности. В интервале влажности почвы  $9 < W < 16$  вибровязкость имеет максимальное значение, и следует ожидать меньшего снижения затрат мощности или его может не произойти.

Сложность вибрационных процессов и отсутствие исходных данных по изменению реологических свойств почв в условиях вибрации не позволяют выполнить детального анализа воздействия каждой составляющей уравнения на затраты мощности. Поэтому согласно уравнения (5) они учитываются совокупно. Это позволяет существенно упростить проведение экспериментальных исследований, не снижая их качества и полезности.

В **третьем разделе** изложена программа экспериментальных исследований, приводится описание технологического процесса уборки сахарной свеклы навесным копателем, методики проведения и оценки погрешностей опытов.

Программой экспериментальных исследований предусматривали: исследование влияния режимов работы и параметров вибрирующих копачей и почвенных условий на тяговое сопротивление агрегата и энергозатраты; определение взаимосвязи повреждения корней сахарной свеклы с режимами

работы свеклоуборочного агрегата; сравнение показателей потерь и эксплуатационно-технологических показателей свеклоуборочных агрегатов и машин с вибрирующими и пассивными копачами.

В качестве основного метода измерения параметров принят тензометрический, предусматривающий синхронную их регистрацию на ленте осциллографа (крутящие моменты на валах, амплитуда и частота колебаний, тяговое сопротивление, расход топлива, частота вращения ВОМ и двигателя).

Комплекс измерительно-регистрирующей аппаратуры состоял из осциллографов Н.044.2, К-12-22, тензоусилителей "Топаз-3", электронных счетчиков расхода топлива ИП-154, ИП-179, сменных вибраторов, тензозвеньев, тензопальцев, тензозвалов и тензометрической рамки, смонтированных на тракторе ЛТЗ-155. Погрешность измерительной аппаратуры не превышала 4 ... 5 %. Обработка опытных данных осуществлялась методами теории вероятностей и математической статистики с использованием элементной базы ЭВМ.

**В четвертом разделе** изложены результаты и анализ экспериментальных исследований.

При оптимизации режимов работы вибрирующих копачей использованы методы теории планирования многофакторных экспериментов с применением некомпозиционных планов второго порядка. Выбор плана эксперимента обосновывается нелинейностью критериев от величины управляющих факторов, зафиксированных в ходе поисковых исследований.

В качестве критериев оптимизации приняты: тяговое сопротивление уборочного агрегата ( $Y_1$ ) и повреждения корнеплодов ( $Y_2$ ). Факторы, интервалы и уровни их варьирования приведены в табл. 1.

1 Интервалы и уровни варьирования факторов

Факторы	Обозначение и размерность фактора	Уровни варьирования			Интервал варьирования
		-1	0	+1	
Скорость движения МТА	$X_1$ , м/с	1,0	1,5	2,0	0,5
Твердость почвы	$X_2$ , МПа	1,5	2,5	3,5	1,0
Частота колебаний рабочего органа	$X_3$ , с <sup>-1</sup>	2,0	25	48	23

Амплитуда колебаний рабочего органа	$X_4$ , мм	1,5	6,5	11,5	5
Влажность почвы	$X_5$ , %	10	18	26	8

Взаимосвязь тягового сопротивления копателя с характеристиками почвенных условий, режимами работы вибрирующих копачей и движения агрегата характеризуется адекватной математической моделью (по критерию Фишер  $F_p < F_{\tau}$ ,  $1,2 < 1,4$ ) вида

$$\begin{aligned}
 Y_1 = & 15,21 + 4,75X_1 - 0,57X_2 - 3,27X_3 - 1,4X_4 - 0,76X_5 + 10,6X_1^2 + 4,16X_2^2 - \\
 & - 1,34X_3^2 - 9,34X_4^2 - 1,64X_5^2 + 0,24X_1X_2 + 0,18X_1X_3 - 0,24X_1X_4 - 0,12X_1X_5 - (7) \\
 & - 0,69X_2X_3 - 0,15X_2X_4 - 0,18X_2X_5 - 0,52X_3X_4 - 0,5X_3X_5 - 0,19X_4X_5.
 \end{aligned}$$

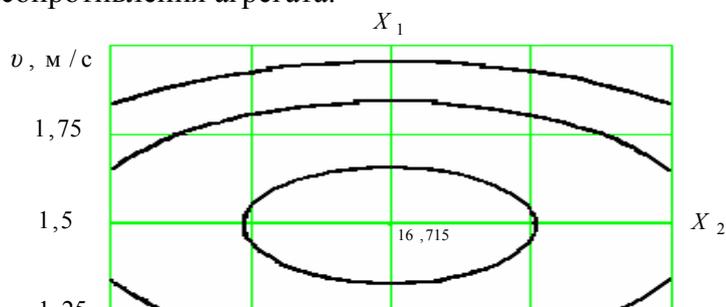
Для анализа приведенного уравнения в направлении оптимизации параметров и режимов работы копателя рассматривали двумерные сечения поверхностей откликов. Результаты расчетов представлены на рис. 2 – 5.

Из анализа двумерного сечения поверхности отклика, характеризующего тяговое сопротивление свеклокопателя при  $X_3 = 0$ ;  $X_4 = 0$ ;  $X_5 = 0$  (рис. 2) видно, что минимальное значение тягового сопротивления в сечении области оптимума относительно скорости движения агрегата ( $X_1$ ) и твердости почвы ( $X_2$ ), равно 16,715 кН. Область оптимума находится в пределах: скорость  $v = 1,4 \dots 1,6$  м/с, твердость  $T = 1,9 \dots 3,1$  МПа. При этом с уменьшением скорости движения тяговое сопротивление снижается. С увеличением твердости почвы тяговое сопротивление копателя возрастает.

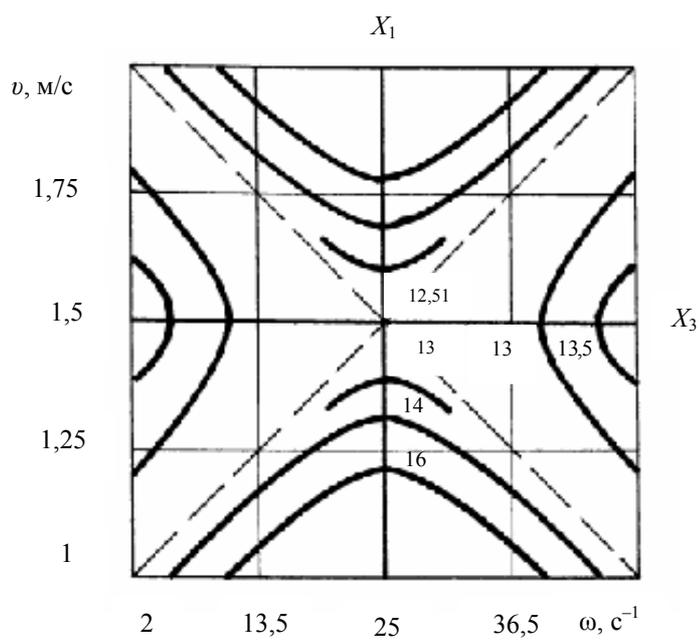
Анализ двумерного сечения  $X_1$ – $X_3$  поверхности отклика, характеризующее тяговое сопротивление копателя (рис. 3) показывает, что минимальное значение тягового сопротивления в области оптимума составляет 12,51 кН при фиксированных на нулевом уровне значений факторов  $X_2$ ,  $X_4$ ,  $X_5$ . Область оптимума находится в пределах: скорость движения агрегата  $v = 1,5$  м/с и частота продольных колебаний копача  $\omega = 25 \text{ с}^{-1}$ . С увеличением скорости движения тяговое сопротивление агрегата возрастает. Повышение частоты вибрации вызывает уменьшение зоны деформации, что согласуется достаточно полно с результатами теоретических исследований и вызывает рост тягового сопротивления.

Минимальное значение тягового сопротивления свеклокопателя в области оптимума при сочетании факторов  $X_1$  и  $X_4$ , а остальные факторы находятся на нулевом уровне, составляет 16,73 кН (рис. 4). Оптимальные значения факторов: скорость движения агрегата  $v = 1,5$  м/с и амплитуда продольных колебаний копача  $A = 6,5$  мм. Дальнейшее снижение амплитуды вызывает рост тягового сопротивления копателя вследствие ухудшения процесса деформации почвы.

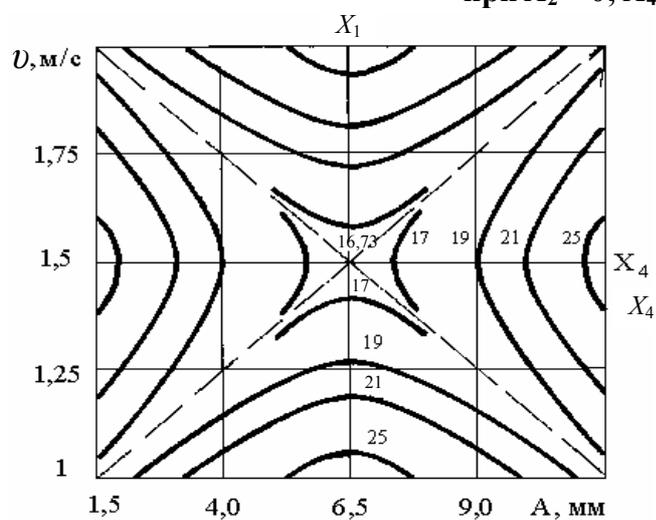
Анализ двумерного сечения поверхности отклика при сочетании факторов  $X_1$ – $X_5$  (рис. 5) показывает, что минимальное значение тягового сопротивления, равное 16,73 кН, наблюдается при скорости движения агрегата  $v = 1,5$  м/с и влажности почвы  $W = 18$  %. Снижение влажности вызывает рост тягового сопротивления агрегата.



**Рис. 2** Двумерное сечение поверхности отклика, характеризующее тяговое сопротивление свеклокопателя при  $X_3 = 0$ ;  $X_4 = 0$ ;  $X_5 = 0$

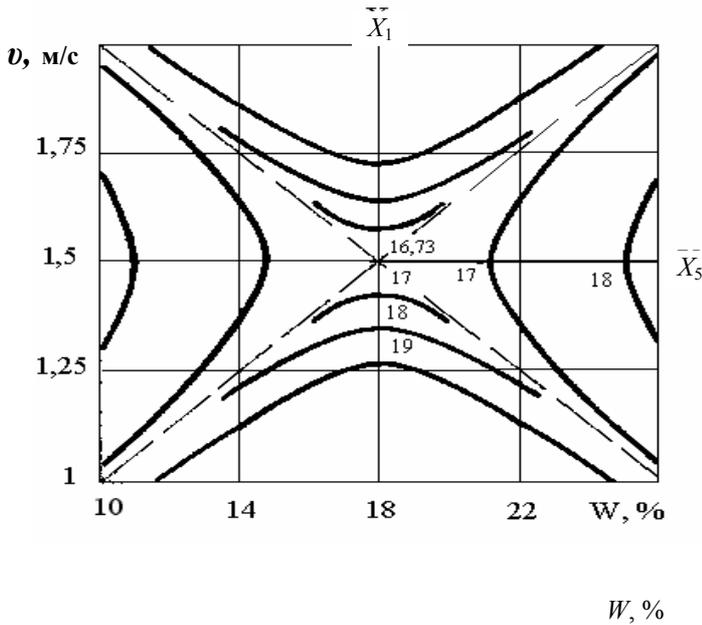


**Рис. 3** Двумерное сечение поверхности отклика, характеризующее тяговое сопротивление свеклокопателя при  $X_2 = 0$ ;  $X_4 = 0$ ;  $X_5 = 0$



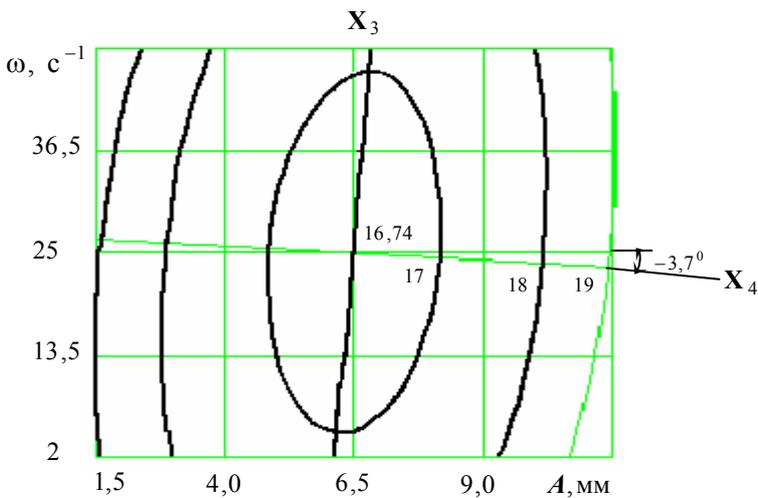
$A$ , мм

**Рис. 4** Двумерное сечение поверхности отклика, характеризующее тяговое сопротивление свеклокопателя при  $X_2 = 0$ ;  $X_3 = 0$ ;  $X_5 = 0$



**Рис. 5** Двумерное сечение поверхности отклика, характеризующее тяговое сопротивление свеклокопателя при  $X_2 = 0$ ;  $X_3 = 0$ ;  $X_4 = 0$

Представляется важным анализ двумерного сечения поверхности отклика, характеризующего тяговое сопротивление копателя, по факторам  $X_3$  – частота и  $X_4$  – амплитуда колебаний копачей при фиксированных на нулевом уровне значений факторов  $X_1, X_2, X_5$ , рис. 6. Наименьшее значение тягового сопротивления агрегата наблюдается при частоте колебаний виброкопачей  $\omega = 25 \text{ с}^{-1}$  и амплитуде ( $A$ ), равной 6,5 мм. Оптимальная область значения тягового сопротивления отмечается при частоте колебаний  $\omega = 4,9 \dots 44,5 \text{ с}^{-1}$  и амплитуде колебаний виброкопачей  $A = 5,2 \dots 7,9 \text{ мм}$ . При движении от области оптимума тяговое сопротивление агрегата увеличивается, т.е. дальнейшее увеличение частоты и амплитуды колебаний нерационально с точки зрения затрат энергии на привод рабочих органов копателя.



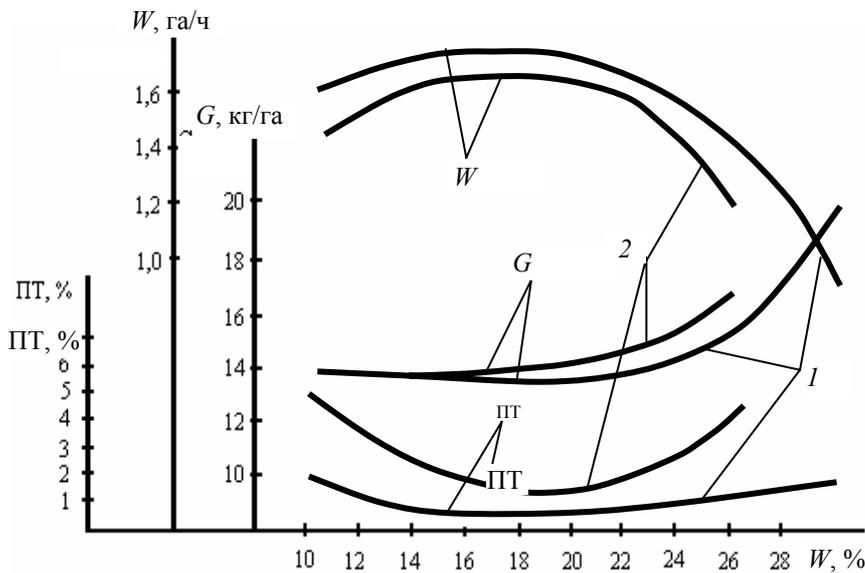
**Рис. 6 Двумерное сечение поверхности отклика, характеризующее тяговое сопротивление свеклокопателя при  $X_1 = 0$ ;  $X_2 = 0$ ;  $X_5 = 0$**

Сравнительные показатели энергооценки процесса уборки свеклы копателем КВС-6 и его работы в различных режимах свидетельствует о том, что работа копателя в оптимальных режимах обеспечивают снижение энергозатрат в среднем на 14 ... 18 %. При этом имеются резервы дальнейшего повышения скорости движения МТА. Загрузка двигателя при работе в оптимальном режиме составляет 0,8 ... 0,92, тем самым обеспечивается экономия расхода топлива и рост производительности.

Снижение амплитуды до  $A = 1,5$  мм приводит к увеличению тягового сопротивления копателя. Работа агрегата нестабильна и сопровождается постоянными остановками по причине появления "бульдозерного эффекта", что приводит не только к росту энергозатрат, потере производительности, но и значительным потерям корнеплодов и их травмированию.

Эффективный подбор режимов работы свеклокопателя КВС-6 в соответствии с условиями уборки позволяет повысить производительность уборочных агрегатов до 1,6 ... 1,7 га/ч при значительном сокращении потерь корнеплодов. При этом одновременно обеспечивается экономия дизтоплива на единицу убранной площади, рис. 7. Внедрение новой технологии уборки сахарной свеклы позволяет снизить потребность в тракторах и уборочных машин.

Обследованием работы свеклоуборочных агрегатов, как ранее выпускаемых промышленностью, так и зарубежного производства, установлено, что повреждения корнеплодов высоки. В основном это обусловлено несоответствием выбранных режимов работы агрегатов, требуемым и сложившимся погодным условиям.



**Рис. 7 Сравнительные показатели использования уборочного агрегата ЛТЗ-155 + КВС-6:**

*1* – производительность, удельный расход топлива и потери корнеплодов в новом варианте; *2* – соответственно в базовом варианте

Взаимосвязь повреждений корнеплодов копаками свеклокопателя КВС-6 с режимами их работы и характеристиками почвы по результатам исследований идентифицирована уравнением

$$Y = 11,572 X_1^{0,756} X_2^{0,021} X_3^{-0,483} X_4^{-0,246} X_5^{-0,059} \quad (9)$$

Повреждения корнеплодов определены согласно РД 10.8.6-90. При этом коэффициент множественной корреляции  $R = 0,9297$  и  $F_p = 1,2$  ( $F_{\text{табл}} = 1,4$ ), т.е. модель адекватна.

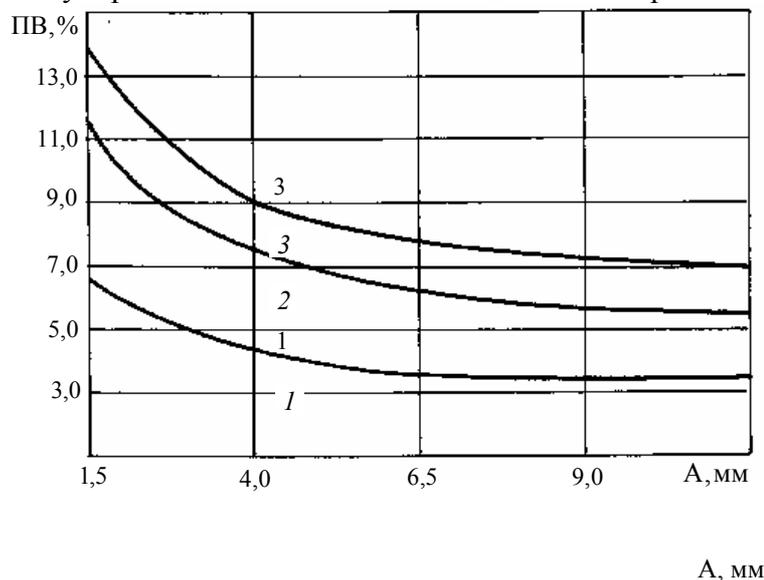
Анализ изменений критерия оптимизации от величины управляющих факторов представлен графически, рис. 8 – 11. При этом взаимосвязь критерия с любым из факторов изучалась на основе анализа зависимостей вида  $Y = f(X)$  при фиксированных значениях остальных факторов. Анализу подвергнуто влияние наиболее весомых факторов: скорости движения, частоты и амплитуды колебаний рабочего органа.

Взаимосвязь критерия оптимизации с амплитудой колебаний при различных значениях скорости движения и частоты колебаний представлена на рис. 8, 9. Анализ представленного графического материала показывает, что увеличение скорости движения при низкой частоте колебаний ( $\omega = 2 \text{ с}^{-1}$ ) приводит к резкому росту повреждений корнеплодов сахарной свеклы. Повышение амплитуды колебаний, при этом, приводит к некоторому снижению повреждений.

Рост повреждений корнеплодов обусловлен сдвиговыми процессами образовавшегося тела волочения (корнеплоды с комьями почвы) в направлении движения агрегата и слабой разрушающей способностью практически невибрирующих рабочих органов, т.е. извлечение корнеплодов происходит с их подпором почвенной массой. Повышение частоты и амплитуды колебаний положительно сказывается на разрушении почвы и вызывает снижение повреждений даже при высоких скоростях движения, так как движение рабочего органа и корнеплодов осуществляется в разрушенном мелкокомковатом почвенном слое без образования тела волочения. Дальнейшее увеличение частоты колебаний свыше  $\omega = 25 \text{ с}^{-1}$  и амплитуды  $A = 6,5 \text{ мм}$  нерационально и связано со значительным повышением потребляемой мощности.

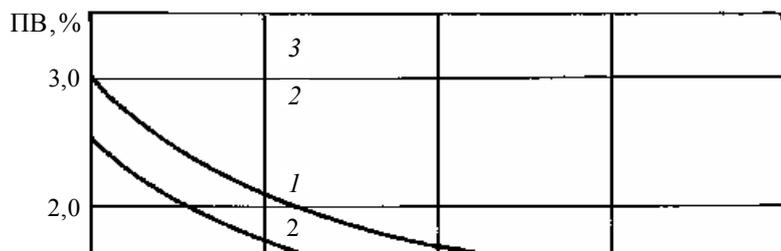
Влияние на критерий  $Y_2$  наиболее весомого фактора, скорости движения агрегата при увеличении частоты колебаний нивелируется увеличением амплитуды колебаний.

В пятом разделе приведены расчеты экономической эффективности технологии уборки сахарной свеклы с применением навесного копателя КВС-6, оснащенного вибрирующими копачами и агрегатируемого с трактором ЛТЗ-155. В качестве сравнения выбрана технология уборки с использованием свеклоуборочного комбайна КС-6Б с дисковыми рабочими органами.



**Рис. 8** Зависимость повреждений корнеплодов от амплитуды колебаний:

$1 - v = 1,0 \text{ м/с}$ ;  $2 - v = 1,5 \text{ м/с}$ ;  $3 - v = 2,0 \text{ м/с}$ ;  
 $T = 3,5 \text{ МПа}$ ,  $W = 10 \%$ ;  $\omega = 2 \text{ с}^{-1}$

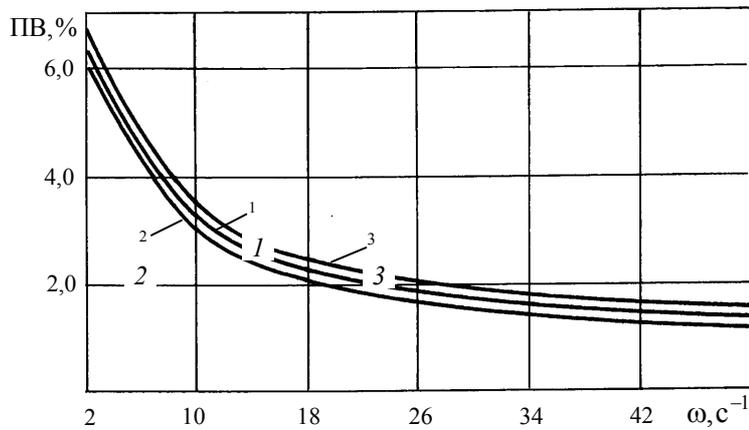


A, мм

**Рис. 9** Зависимость повреждений корнеплодов от амплитуды колебаний:

$1 - v = 1,0$  м/с;  $2 - v = 1,5$  м/с;  $3 - v = 2,0$  м/с;

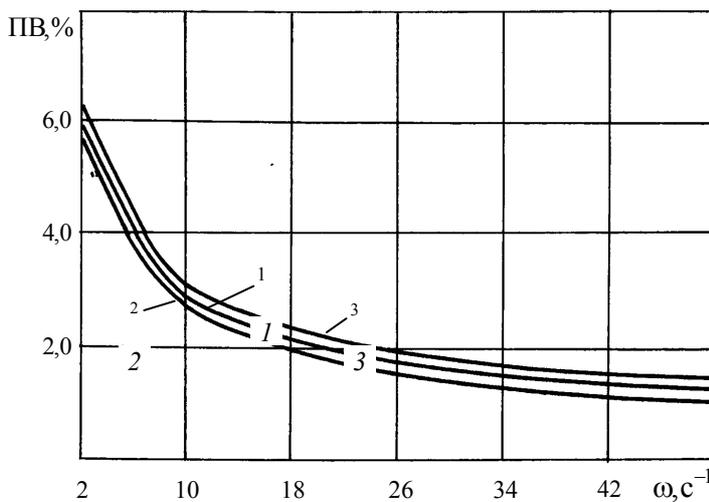
$T = 3,5$  МПа.  $W = 10$  %;  $\omega = 48$  с<sup>-1</sup>



**Рис. 10** Зависимость повреждений корнеплодов от частоты колебаний:

$T = 3,5$  МПа;  $W = 10$  %,  $1 - v = 1,0$  м/с;  $A = 1,5$  мм;

$2 - v = 1,5$  м/с;  $A = 6,5$  мм;  $3 - v = 2,0$  м/с;  $A = 11,5$  мм



$\omega$ , с<sup>-1</sup>

**Рис. 11** Зависимость повреждений корнеплодов от частоты колебаний:

$T = 1,5$  МПа;  $W = 26$  %;  $1 - v = 1,0$  м/с;  $A = 1,5$  мм;

$2 - v = 1,5$  м/с;  $A = 6,5$  мм;  $3 - v = 2,0$  м/с;  $A = 11,5$  мм

Использование уборочных агрегатов на базе тракторов ЛТЗ-155 и навесного свеклокопателя КВС-6 позволяет получить годовой экономический эффект 1178,4 р./га при одновременном снижении затрат труда в 2,09 раза. Дальнейшее повышение производительности уборочного агрегата до 1,6 ... 1,7 га/ч связано с обеспечением подбора и сохранением на заданном уровне характеристик режимов его работы. Оптимизация режимов работы обеспечивает дальнейшее снижение расхода топлива на 5 ... 6,5 % и экономию затрат на 10,97 р./га.

## ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1 Эффективность применения навесного свеклокопателя обусловлена повышенным эффектом нарушения связей корнеплода с почвой и крошения почвенного пласта под влиянием вибрирующих копачей. Движение копачей и корнеплодов в почвах с разрушенной структурой обеспечивает достижение минимальных значений энергозатрат, потерь и повреждений корнеплодов, высоких скоростей движения уборочных агрегатов.

2 Взаимосвязь параметров и режимов работы вибрирующих копачей с критериями качества и ресурсосбережения адекватно идентифицируются предложенными математическими моделями.

3 В условиях высокой вариации показателей физико-механических и реологических свойств почв основными принципами повышения эффективности использования вибрационного свеклокопателя являются: обеспечение оптимальных соотношений частоты и амплитуды колебаний копача, скорости и движения и повышение тягово-сцепных свойств энергосредств.

4 Оптимальные параметры колебательного процесса  $\omega = 25 \text{ с}^{-1}$ ,  $A = 6,5 \text{ мм}$  обуславливают при скорости движения уборочного агрегата  $v = 1,5 \text{ м/с}$  снижение энергозатрат в среднем на 14 ... 18 % при одновременном снижении повреждений корнеплодов более чем в 2 раза.

5 Дальнейшие снижения повреждений корнеплодов связывается с совершенствованием очищающих и транспортирующих устройств уборочных машин.

6 Применение технологий уборки с использованием навесного свеклокопателя в агрегате с трактором ЛТЗ-155 обеспечивает повышение производительности на 20 ... 30 %, снижение расхода топлива с 29,8 кг/га до 20,2 кг/га в сравнении с комбайном КС-6Б при значительном сокращении потерь корнеплодов и загрязненности вороха. Дальнейшее повышение производительности уборочного агрегата до 1,6 ... 1,7 га/ч связано с обеспечением подбора и сохранением на заданном уровне характеристик режимов его работы.

7 Использование уборочных агрегатов на базе тракторов ЛТЗ-155 и навесного свеклокопателя КВС-6 в технологиях уборки сахарной свеклы позволяет получить годовой экономический эффект 1178,4 р./га при одновременном снижении затрат труда в 2,09 раза.

### Основные положения диссертационной работы опубликованы в следующих работах:

1 Рамазанов А.Г. Вибрационные процессы и целесообразность их использования в свеклоуборочных машинах (обзор, анализ, проблема) / А.Г. Рамазанов. – Воронеж: Истоки, 2002. – 54 с.

2 Рамазанов А.Г. Опыт использования навесного вибрационного свеклокопателя КВС-6. Инф. листок 70-062-03 / А.Г. Рамазанов. – Тамбов, ЦНТИ, 2003.

3 Рамазанов А.Г. Обоснование параметров и режимов работы вибрационных рабочих органов свеклоуборочных машин / А.Г. Рамазанов. – Воронеж: Истоки, 2003. – 58 с.

4 Балашов А.В. Совершенствование технологического комплекса машин для уборки сахарной свеклы / А.В. Балашов, А.Г. Рамазанов. – Воронеж: Истоки, 2003. – 33 с.

5 Рамазанов А.Г. Качество работы навесного вибрационного свеклокопателя КВС-6 / А.Г. Рамазанов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2003. – № 8. – С. 32.

6 Повышение эффективности использования свекловодческих тракторов ВТ-100ДС оптимизацией режимов работы и динамики движения / А.В. Балашов, А.А. Ногтиков, А.А. Армашов, А.Н. Агатов, Е.В. Бирюкова, Н.В. Чертилин, А.Г. Рамазанов. – Воронеж: Истоки, 2003. – 106 с.

7 Интегральный трактор. Основные потребительские свойства и использование в составе машинных агрегатов и технологий / Ю.А. Тырнов, А.С. Дурманов, А.В. Балашов, А.А. Ногтиков, Ю.В. Мельник, А.Г. Рамазанов. – Воронеж: Истоки, 2003. – 218 с.

8 Дурманов А.С. ЛТЗ-155 верный помощник свекловода / А.С. Дурманов, А.В. Балашов, А.Г. Рамазанов // Сельский механизатор. 2003. – № 12. – С. 9 – 12.

9 Балашов А.В. Оптимизация режимов работы вибрирующих копачей свеклоуборочных машин методами планирования эксперимента / А.В. Балашов, А.Г. Рамазанов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2003. – № 12. (в печати).