

На правах рукописи

Власенков Алексей Николаевич

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УБОРКИ СЕМЯН РАПСА В
УСЛОВИЯХ ПОВЫШЕННОГО УВЛАЖНЕНИЯ ПУТЁМ
ОБОСНОВАНИЯ СРОКОВ УБОРКИ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ
ЗЕРНОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ**

Специальность 05.20.01 – Технологии и средства механизации сельского
хозяйства

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт – Петербург - 2013

Работа выполнена в Государственном научном учреждении Северо-Западный научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства Российской академии сельскохозяйственных наук (ГНУ СЗНИИМЭСХ Россельхозакадемии).

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент,
Перекопский Александр Николаевич.

Официальные оппоненты:

- **Керимов Мухтар Ахмиевич**, доктор технических наук, профессор, Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, профессор кафедры «Автомобили и тракторы»;

- **Баранов Леонид Николаевич**, кандидат технических наук, ОАО ПЗ "Красногвардейский", главный инженер.

Ведущая организация: федеральное государственное учреждение "Северо-Западная государственная зональная машиноиспытательная станция".

Защита состоится «27» июня 2013 г. в 13 часов 30 минут на заседании диссертационного совета Д 220.060.06 при ФГОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет» по адресу: 196601, Санкт-Петербург - Пушкин, Петербургское шоссе, д. 2, СПбГАУ, ауд. 2.719.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет».

Автореферат разослан «___» _____ 2013 г.

Автореферат размещен на сайтах: <http://vak2.ed.gov.ru>
<http://spbgau.ru>.

Учёный секретарь
диссертационного совета

Смирнов Василий
Тимофеевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы.

В настоящее время в мире наблюдается тенденция к переходу от ископаемых видов топлива на виды топлива, получаемые из возобновляемых ресурсов. Одним из самых распространённых видов топлива, получаемого из возобновляемых ресурсов, является метиловый эфир рапсового масла, который производят из семян рапса. Рапс культивируется во многих районах страны, в том числе широкое распространение он получает на Северо-Западе России. Но в виду климатических особенностей региона при возделывании рапса, а именно при его комбайновой уборке, возникают проблемы с большими (до 25%) потерями семян.

Снижение потерь семян рапса при уборке - важное условие увеличения рентабельности его производства. Изучение качества работы комбайнов в хозяйственных условиях показывает, что из-за неправильной настройки и несоблюдения требуемых режимов работы, а также при отсутствии удлиняющей приставки на жатку (рапсовый стол) потери доходят до 25% от всего намолоченного объёма семян.

Уборка урожая в Северо-Западном регионе РФ часто осуществляется при повышенной влажности семян 21-26% и более. При ранее проведённых исследованиях, в основном, изучали обмолот при средней и низкой влажности семян, а исследования, касающиеся сроков начало уборки рапса, не проводились.

Кроме того, в исследованиях нет единого мнения в оценке влияния влажности семян на качество вымолота, сепарацию и повреждения семячн.

Существующие рекомендации по выбору режимов работы молотилки комбайна разработаны без учёта влияния этих факторов на потери семян.

В связи с этим, обоснование сроков уборки рапса, рациональных режимов работы зерноуборочного комбайна при обмолоте семян повышенной влажности и полной спелости, позволяющее снизить потери и повысить качество убираемых семян в условиях Северо-Запада, имеет важное значение и является актуальной задачей.

Целью работы является повышение эффективности уборки семян рапса путём обоснования рациональных сроков уборки и режимов работы зерноуборочного комбайна.

Объект исследования: Объектом исследования является процесс уборки семян рапса зерноуборочным комбайном «Samro 500».

Предмет исследования: Предметом исследования является молотильно-сепарирующее устройство зерноуборочного комбайна.

Методика исследований: Проведены экспериментальные исследования процесса обмолота семян рапса повышенной влажности на примере комбайна «Samro 500». Экспериментальные исследования были выполнены методом полнофакторного эксперимента; результаты исследований обрабатывались с применением программ Statistica 6.0, MS Excel и других.

Научная новизна заключается в следующем:

– Получены математические зависимости потерь семян от их влажности, подачи растительной массы, частоты вращения молотильного барабана и величины молотильных зазоров, в условиях повышенного увлажнения;

– Получена математическая модель прогнозирования сроков уборки семян рапса в стадии полной спелости в условиях повышенного увлажнения.

Практическая значимость:

– В результате исследований получены оптимальные режимы работы зерноуборочного комбайна при уборке рапса повышенной влажности 21-26%, которые позволили уменьшить потери более чем в 3 раза;

– Разработана методика прогнозирования сроков уборки семян рапса в стадии полной спелости в условиях повышенного увлажнения. Результаты теоретических и экспериментальных исследований могут быть использованы механизаторами, наладчиками-контролерами, специалистами сельского хозяйства в их практической работе.

Достоверность научных положений подтверждается результатами экспериментальных исследований, полученных с использованием современных измерительных устройств, при достаточном количестве повторностей опытов, с обработкой опытных, данных с использованием методов математической статистики.

Апробация работы. Основные положения работы доложены и обсуждены на международной научно-практической конференции: «Вклад молодых учёных в развитие АПК» Великолукской государственной сельскохозяйственной академии, 2009 год; выставке «Агрорусь 2009» - Семинар «Техническое оснащение фермерских хозяйств и хозяйствующих объектов малого агробизнеса»; международной научно-практической конференции молодых учёных «Энергоресурсосберегающие технологии и технические средства для их обеспечения в сельскохозяйственном производстве», 2010 год; научной конференции профессорско-преподавательского состава, научных работников и аспирантов Санкт-Петербургского государственного аграрного университета, 2011 год.

Публикации. По теме диссертационной работы опубликовано 8 печатных работ, в их числе 3 – в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 1 патент РФ на изобретение.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти разделов, общих выводов, списка использованной литературы, включающего 116 наименований, из них 9 на иностранных языках и приложений. Основная часть диссертации содержит 153 страницы компьютерного текста, включая 40 рисунков, 25 таблиц.

На защиту выносятся:

– модели, описывающие процессы обмолота и сепарации семян рапса в молотильном аппарате в зависимости от урожайности и влажности семян, скоростного режима движения комбайна, частоты вращения молотильного барабана и величины молотильных зазоров, позволяющие вскрыть взаимосвязь изучаемых факторов и степень их влияния на процессы;

– теоретическое и экспериментальное обоснование сроков начала уборки рапса и режимов работы молотильно-сепарирующего устройства зерноуборочного комбайна на примере «Samro 500»;

– методика экспериментальных исследований процесса обмолота семян рапса повышенной влажности (более 20%) в отличие от методик ГОСТа (ГОСТ 28301-2007), где влажность зерна или семян не более 20%.

Работа выполнена в соответствии с планом НИОКР 09.01.01.04 «Разработать прогноз использования машинных технологий производства рапса в условиях повышенного увлажнения, обеспечивающих комплексное использование семян рапса для производства топлива, кормов для животных и пищевых продуктов».

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

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

В первом разделе «Состояние вопроса и задачи исследования» проведен анализ показателей характеризующих процесс возделывания рапса на территории Российской Федерации, а в том числе на территории Северо-Западного региона.

Анализ погодно-климатических условий Северо-Западного региона показал, что благоприятных и удовлетворительных дней для уборки рапса в августе - 82%, в сентябре - 58%.

Проведён анализ технологических узлов зерноуборочных комбайнов, влияющих на процесс уборки, обмолота и сепарации семян рапса, рассмотрены вопросы контроля и оценки качества уборки рапса. Установлено, что из-за специфики условий Северо-Западного региона, обмолачивают рапс при повышенной влажности семян. Отсутствие в этом случае рекомендаций по выбору режимов обмолота, учитывающих влажность семян, приводит к значительным потерям.

Показатели работы зерноуборочных комбайнов, в частности, их пропускная способность в условиях повышенного увлажнения, а также показатели работы комбайнов на уборке зерновых и рапса изучены: по зерну - В.Г. Антипиным, Э.В. Жалниным, В.М. Медведчиковым, П.Н. Федосеевым, Г.Е. Чепуриным; по рапсу - О.С. Ключкова, Д. Шпаар, Mięczysław Szpryngiel и др.

Влияние влажности обмолачиваемой культуры на пропускную способность молотилки комбайна оценивается по-разному, но до настоящего времени не получено математической зависимости, отражающей степень влияния и взаимосвязь факторов: урожайности и влажности семян рапса, скоростного режима движения зерноуборочного комбайна, молотильных зазоров, частоты вращения молотильного барабана на показатели процессов обмолота и сепарации семян в молотильно-сепарирующем устройстве комбайна.

В связи с этим поставлены следующие задачи:

- провести анализ способов уборки семян рапса зерноуборочным комбайном в условиях повышенного увлажнения;
- обосновать оптимальные сроки начала уборки семян рапса;
- обосновать влияние состояния растительной массы на производительность зерноуборочного комбайна;
- разработать математические модели зависимости качества обмолота семян рапса от частоты вращения молотильного барабана и зазора между барабаном и подбарабаньем, влияния урожайности и влажности семян на режимы работы зерноуборочного комбайна;
- обосновать оптимальные режимы работы зерноуборочного комбайна при уборке семян рапса;
- провести оценку экономической эффективности внедрения результатов исследований.

Во втором разделе «Теоретические основы повышения эффективности уборки рапса в условиях Северо-Запада России» освещены вопросы прогнозирования сроков уборки и темпов созревания рапса при планировании уборочных работ, влияния сроков уборки и состояния растительной массы на эффективность работы комбайнов, расчёта производительности и требуемого количества комбайнов в условиях производственной эксплуатации.

Из-за длительности сроков цветения посевов рапса созревание стеблестоев протекает неравномерно и растянуто. С этим связаны определённые трудности при правильном определении сроков уборки. Когда верхние стручки уже созрели и даже могут растрескиваться, налив семян в нижних стручках ещё продолжается.

В связи с этим сроки наступления фазы спелости верхнего яруса стручков с семенами определяются датами сева рапса по отдельным полям, периодом роста и развития растения от сева до фазы спелости семян в стручках верхнего яруса. Это определяется по формуле, рассчитанной на основе методики, предложенной Г.Е. Чепуриным для определения срока наступления восковой спелости зерновых культур:

$$t_c = t_{\text{сев}} + \tau_{\text{вег}}, \quad (1)$$

где t_c – дата наступление фазы спелости семян в стручках верхнего яруса;

$t_{\text{сев}}$ – дата сева рапса;

$\tau_{\text{вег}}$ – период роста и развития растения от сева до фазы спелости семян в стручках верхнего яруса.

Продолжительность развития растения от сева до фазы спелости семян в стручках верхнего яруса зависит от условий тепло-влагообеспеченности и сорта культуры.

Тепло-влагообеспеченность определяется суммой осадков и положительных температур за период развития растений, поэтому для расчёта продолжительности вегетации рапса от сева до фазы спелости верхнего яруса предлагается формула:

$$\tau_{\text{вег}} = a + b \sum_{i=1}^{\tau_0} Q_i : \sum_{i=1}^{\tau_0} T_i, \quad (2)$$

где a, b – коэффициенты, зависящие от сорта рапса и предшественника;

Q_i – среднегодовое количество осадков за i -й день, мм;

T_i – среднесуточная положительная температура воздуха за i -й день, $^{\circ}\text{C}$;

τ_0 – средняя продолжительность вегетации от сева до спелости семян в стручках верхнего яруса.

Так как семена на самом растении созревают неравномерно, то дату наступления полной спелости (созревание стручков с семенами расположенными на нижнем ярусе растения) определяется по формуле:

$$t_{\text{п}} = t_{\text{с}} + \tau_{\text{н}}(1 + \beta), \quad (3)$$

где $\tau_{\text{н}}$ – продолжительность созревания семян в стручках нижнего яруса от начала созревания семян в стручках верхнего яруса, дней;

β – вероятность выпадения осадков.

По формулам (2) и (3) определяют начальную и конечную дату наступления фазы спелости и подсчитывают интенсивность наступления той или иной фазы на m -м поле (y_m):

$$y_m = \frac{S_m}{t_{\text{п}} - t_{\text{с}}}, \quad (4)$$

где $t_{\text{п}}, t_{\text{с}}$ – конечная и начальная даты наступления фазы спелости;

S_m – площадь m -го поля.

Основным показателем работы зерноуборочного комбайна является его пропускная способность или количество срезанной растительной массы убираемой культуры, которое он может переработать при хорошем качестве и без забивания рабочих органов в единицу времени. Если принять, что физико – механические свойства убираемой культуры: полеглость, засорённость, влажность и урожайность, – величины, постоянные в данных производственных условиях, то на пропускную способность влияет содержание семян в растительной массе. Эта зависимость может быть выражена формулой, предложенной В.Г. Антипиным:

$$g_{\text{в}} = g_{\text{р}} \frac{1 - \alpha_{\text{р}}}{1 - \alpha_{\text{ф}}}, \quad (5)$$

где $g_{\text{р}}, \alpha_{\text{р}}$ – расчётные (конструктивные) пропускная способность комбайна (кг/с) и содержание семян в обрабатываемой им культуре (%);

$g_{\text{в}}, \alpha_{\text{ф}}$ – возможная пропускная способность комбайна (кг/с) при фактическом содержании семян в срезанной растительной массе (%).

Вследствие неравномерности подачи растительной массы невозможно полностью использовать расчётную пропускную способность комбайна. Введя понятие степени использования его пропускной способности $\xi_{\text{г}}$, равное отношению максимальной секундной подачи к максимальной возможной пропускной способности в данных условиях работы, фактическая пропускная способность комбайна составит:

$$g_{\phi} = \xi_g \Omega_{\phi} g_p \frac{1 - \alpha_p}{1 - \alpha_{\phi}}, \quad (6)$$

где Ω_{ϕ} – коэффициент относительного изменения пропускной способности комбайна в зависимости от влажности семян, стручков, стеблей и засорённости растительной массы;

$$\Omega_{\phi} = \left(\alpha_p \times \frac{100 - W'_{см}}{100 - W_{см}} + (1 - \alpha_p - E_p) \frac{100 - W'_{стб}}{100 - W_{стб}} + \frac{100 - W'_{ст}}{100 - W_{ст}} \right) \times (1 + E_p), \quad (7)$$

где $W_{см}$, $W_{стб}$, $W_{ст}$ – кондиционная влажность соответственно семян, стеблей и стручков, %;

$W'_{см}$, $W'_{стб}$, $W'_{ст}$ – фактическая влажность в момент уборки соответственно семян, стеблей и стручков, %;

E_p – засорённость растительной массы сорняками в долях единицы.

$$\xi_g = \frac{g_{\phi}}{g_{\max}}, \quad (8)$$

где g_{\max} – максимально возможная пропускная способность в данных условиях работы, кг/с.

При равных условиях работы ξ_g можно представить, как отношение длины жатки, установленной на комбайн в данный момент $B_{ж}$, к максимально возможной длине жатки, которую производитель комбайнов рекомендует устанавливать $B_{ж-\max}$.

$$\xi_g = \frac{B_{ж}}{B_{ж-\max}}, \quad (9)$$

Тогда для «Samro 500» $\xi_g = 0,75$

Теоретическая возможная производительность зерноуборочного комбайна пропорциональна пропускной способности и обычно определяется следующим образом по площади:

$$\omega_{BS} = \frac{36g_p}{Q_p}, \quad (10)$$

где Q_p – урожайность растительной массы, ц/га.

Количество срезанной влажной растительной массы определяется из выражения:

$$Q_p = 85 \frac{(100 - W'_c) + \delta_{см}(100 - W'_{см}) + \delta_{ст}(100 - W'_{ст})}{(100 - W'_c) + (100 - W'_{см}) + (100 - W'_{ст})} \times (1 + \varepsilon'_p), \quad (11)$$

где $\delta_{см}$, $\delta_{ст}$ – отношение массы семян соответственно к массе срезанных стеблей и массе стручков;

ε'_p – фактическая засорённость растительной массы сорняками в долях единицы.

Учитывая влияние состояния растительной массы убираемой культуры на пропускную способность зерноуборочного комбайна, получим действительно возможную производительность.

По убранной площади:

$$\omega_s = \frac{36\xi_q \Omega_\phi g_\Pi (1 - \alpha_p)}{Q_p (1 - \alpha_\phi)}. \quad (12)$$

где g_Π – расчётная (паспортная) пропускная способность комбайна, кг/с.

По количеству переработанной растительной массы:

$$\omega_{рм} = 36\xi_q \Omega_\phi g_\Pi \frac{1 - \alpha_p}{1 - \alpha_\phi}. \quad (13)$$

По массе намолоченных семян:

$$\omega_{сем} = 36\alpha_p \xi_q \Omega_\phi g_\Pi \frac{1 - \alpha_p}{1 - \alpha_\phi}. \quad (14)$$

В этом случае оптимальная скорость (м/с) перемещения комбайна определяется возможной пропускной способностью:

$$V^*_{раб} = \frac{100 \times g_B^*}{B_{ж} \times Q_p}, \quad (15)$$

где g_B^* - оптимальная секундная подача в данных условиях работы, кг/с.

Зависимость оптимальной секундной подачи от потерь можно представить как выражение:

$$g_B^* = f(P) = a'P^2 + b'P + c. \quad (16)$$

где P – суммарные потери семян рапса;

a' , b' , c – коэффициенты уравнения.

На основании теоретических исследований получена зависимость сроков уборки рапса от суммы осадков, суммы положительных температур воздуха, а также от сорта рапса и от предшественника.

Получена зависимость оптимального скоростного режима движения зерноуборочного комбайна на уборке рапса, при которой потери семян минимальны и зависят от пропускной способности и состояния растительной массы.

Получена зависимость пропускной способности комбайна, учитывающей состояние растительной массы рапса: влажность семян, стручков, стеблей и засорённость

В третьем разделе «Программа и методика экспериментальных исследований процесса обмолота семян рапса повышенной влажности» предложена оригинальная программа и методика проведения экспериментальных исследований.

Целью экспериментальных исследований является проверка установленных теоретических предпосылок процесса обмолота семян рапса повышенной влажности и определение оптимальных параметров и режимов работы зерноуборочного комбайна на примере «Sampo 500».

Программа исследований включает в себя проведение лабораторных и производственных опытов.

Программа исследований в лабораторных условиях предусматривала:

- определение размерно-массовых характеристик рапса на примере сорта «Оредеж 4»;

- определение потерь семян за комбайном при соответствующих технологических настройках;
- определение рациональных параметров технологических регулировок для уборки семян рапса;
- определение технико-экономических показателей работы комбайна.

В производственных условиях программа исследований предусматривала:

- изучение влияния технологических настроек зерноуборочного комбайна на примере «Samro 500» (рисунок 1) на эффективность обмолота семян рапса повышенной влажности;
- определение потерь семян за комбайном при различных технологических настройках.



Рисунок 1 – Зерноуборочный комбайн «Samro 500»

С целью определения влияния технологических настроек молотильно-сепарирующего устройства (МСУ) на потери семян рапса, был применён метод полного факторного эксперимента, в процессе которого на объект подавалась совокупность входных воздействий X_i и оценивалась совокупность выходных величин Y_i – суммарных потерь за МСУ, %.

В качестве входных воздействий X_i принимались следующие факторы: X_1 – частота вращения молотильного барабана, мин^{-1} ; X_2 – зазор на выходе между барабаном и подбарабаньем, мм.

В ходе экспериментальных исследований уровни факторов были строго фиксированы. Величина зазора в подбарабанье на выходе, которая характеризует интенсивность обмолота, изменялась при помощи регулировочных тяг и проверялась при помощи щупов из комплекта КИ-11382-ГОСНИТИ. Частота вращения молотильного барабана контролировалась с помощью бортового тахометра.

Эксперимент был реализован по матрице 3^2 . При каждой комбинации факторов осуществлялась трёхкратная повторность опыта.

Так же было выполнено планирование эксперимента по влиянию влажности, урожайности и скорости движения комбайна на потери семян. Данный эксперимент был реализован на основе постановки полнофакторного эксперимента по матрице 2^3 . В качестве выходной величины принимали Y_i – суммарные потери семян рапса при уборке, в качестве входных воздействий X_i

выбирались следующие факторы: X_1 – урожайность, ц/га; X_2 – скорость движения, км/ч; X_3 – влажность семян, %.

Секундная подача растительной массы в молотилку комбайна является одним из основных параметров, влияющих на загрузку МСУ. Но в связи с тем, что данный параметр не может быть измерен в производственных условиях, а может быть только рассчитан, нами были взяты два параметра, которые влияют на подачу (кг/с), это скорость движения комбайна (км/ч) и урожайность культуры (ц/га).

При определении потерь семян за молотилкой использован метод наложения контрольных рамок: определяются средние потери семян в зависимости от ширины захвата жатки, ширины молотилки и среднего веса семян на одной контрольной площадке; при известной урожайности определяются потери в (%) за молотилкой. Влажность семян определяется влагомером «Wile 35».

Данные, полученные в ходе проведения опытов, обрабатывались статистическими методами на компьютере с использованием программ MS Excel, Statistica 6.0, Advanced Grapher.

В четвертом разделе «Результаты экспериментальных исследований» изложены результаты экспериментальных исследований качества работы зерноуборочного комбайна «Samro 500» и физико-механические свойства семян ярового рапса сорта «Оредеж 4». На различных участках поля было подсчитано число продуктивных растений на 1 м^2 , оно составило 89 шт/м^2 . Масса 1000 семян $4,2 \text{ г}$, расчётная урожайность $17,98 \text{ ц/га}$.

Исследования проводились в ЛенНИИСХ «Белогорка» Ленинградской области в уборочный сезон 2009-2012 года (август-сентябрь).

Убираемая культура рапс сорта «Оредеж 4». Скорость движения комбайна поддерживалась в пределах $3,6-4,7 \text{ км/ч}$

При проведении экспериментальных исследований потери семян молотилками варьировались в широких пределах от $5,48$ до $17,41\%$.

Подставляя данные в выражение (10), определим количество срезанной растительной биомассы: $Q'_p = 75 \text{ ц/га}$.

Коэффициент относительного изменения пропускной способности комбайна в зависимости от влажности семян, стручков, стеблей и засорённости растительной массы по выражению (7) составит: $\Omega_\phi = 1,27$.

Производительность комбайна по убранной площади, исходя из выражения (12) будет равна: $\omega_c = 0,85 \text{ га/ч}$.

Приняв характерные для условий Ленинградской области значения на уборке ярового рапса урожайность, влажность и засорённости: $Q'_c=17,98 \text{ ц/га}$; $\delta_{cm}=0,486$; $\delta_{ct}=0,9$; $W'_c=40\%$; $W'_{cm}=26\%$; $W'_{ct}=32\%$; $\varepsilon'_p=0,1$; $Q'_p=75 \text{ ц/га}$

Расчётная пропускная способность комбайна, при данных ширине захвата жатки $B_{ж}=2,43 \text{ м}$ и скорости перемещения $V=3,66 \text{ км/ч}$ с учётом принятых величин, составляет $g_p = 1,85 \text{ кг/с}$.

Возможная пропускная способность комбайна из выражения (5) (при расчётной $1,85 \text{ кг/с}$) на уборке будет равна: $g_b = 2,375 \text{ кг/с}$.

Из выражения (10) возможная производительность комбайна будет равна $\omega_{BS} = 0,87$ га/ч. Погрешность между расчётным значением ω_S и теоретически возможным ω_{sS} равняется $\Delta\omega = 2,33\%$.

Расчитанная производительность комбайна на уборке рапса нормальной влажности $W_c=13\%$ составляет $\omega_{s2} = 1,02$ га/ча. При уборке семян влажностью 25%, стручков 32%, стеблей 38 % и засоренности посевов 3% производительность комбайна составляла $\omega_{s3} = 0,865$ га/ч. Очевидно, что производительность комбайна снизилась на 15,2%, следовательно зависимость производительности от состояния растительной массы подтверждена.

Для определения влияния разных факторов на потери при комбайновой уборке рапса были проведены предварительные исследования. В качестве факторов, влияющих на показатель потерь, кроме прочего, были приняты: частота вращения вентилятора, мин^{-1} ; зазор между барабаном и подбарабаньем на выходе, мм; частота вращения молотильного барабана, мин^{-1} .

Потери определялись при следующих технологических настройках: частота вращения молотильного барабана 800 мин^{-1} ; зазоры на выходе устанавливались следующие: $z_1=7$ мм; $z_2=9$ мм; $z_3=11$ мм (рисунок 2). Минимальные потери наблюдаются при минимальных зазорах в молотилке.

Ввиду того, что семенной ворох, поступающий в комбайн, имеет повышенную влажность (24%), настройки частоты вращения вентилятора выбирались от среднего (600 мин^{-1}) уровня до максимального (800 мин^{-1}) (рисунок 3).

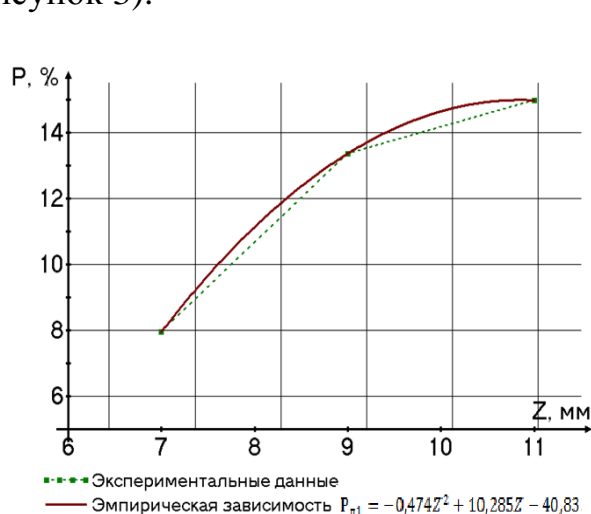


Рисунок 2 - Зависимость потерь семян за молотилкой ($P, \%$) от значения молотильного зазора на выходе подбарабанья ($z, \text{мм}$) при частоте вращения барабана $n=800 \text{ мин}^{-1}$, влажность семян 24%

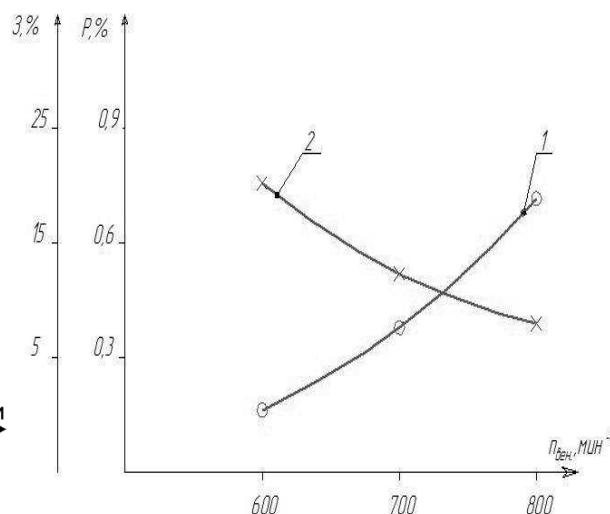


Рисунок 3 - Зависимость потерь ($P, \%$) семян (1) и засорённости (3,%) семенного вороха (2) от частоты вращения вентилятора ($n_{\text{вен}}, \text{мин}^{-1}$), влажность семян 24%

Минимальные потери семян наблюдаются при средних настройках частоты вращения вентилятора (700 мин^{-1}), но при этом наблюдается повышенная засорённость вороха 12,24%; при увеличении частоты вращения до 800 мин^{-1} потери незначительно возрастают, но засорённость вороха значительно падает до 6,98%. Так как после уборки рапс поступает на

семяочистительно-сушильный пункт, то повышенной засоренностью можно пренебречь. При проведении дальнейших опытов частота вращения вентилятора устанавливалась в среднее значение $n_{вент.}=700 \text{ мин}^{-1}$.

Для определения максимальной производительности зерноуборочного комбайна нужно было проверить его работу на различных технологических режимах. Главными факторами, влияющими на производительность комбайна, являются частота вращения молотильного барабана $n \text{ мин}^{-1}$ и зазоры в подбарабанье $z \text{ мм}$.

Выбор частоты вращения барабана основывался на конструктивных особенностях комбайна. Нами было принято решение предварительно исследовать работу комбайна на всём диапазоне частот вращения молотильного барабана от 600 до 1200 мин^{-1} .

Аналогично проведены опыты (рисунок 4) по установке зазоров в подбарабанье на выходе от 7 до 11 мм. Принятая нижняя граница зазоров обусловлена конструктивной особенностью комбайна.

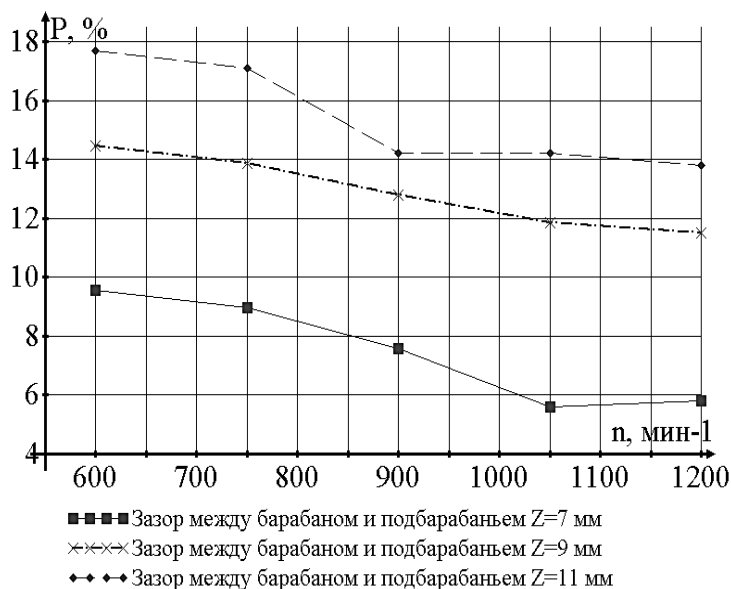


Рисунок 4 - Зависимость потерь за молотилкой (P, %) от частоты вращения барабана ($n, \text{мин}^{-1}$) при зазоре на выходе $z_1=7 \text{ мм}$, $z_2=9 \text{ мм}$, $z_3=11 \text{ мм}$, влажность семян 24%

В ходе исследований отмечается статистическая зависимость между производительностью зерноуборочного комбайна и потерями семян рапса за молотилкой. При уборке перестоявшего рапса стручки находятся в нестабильном состоянии, при воздействии на них мотовила часть из них раскрывается, в связи с этим возрастают потери при уборке.

Графически эта зависимость изображается (рисунок 5) в виде кривой, осями координат для неё служат: по горизонтали - производительность (кг/с) и продолжительность уборки (дней), а по вертикали - потери семян (%).

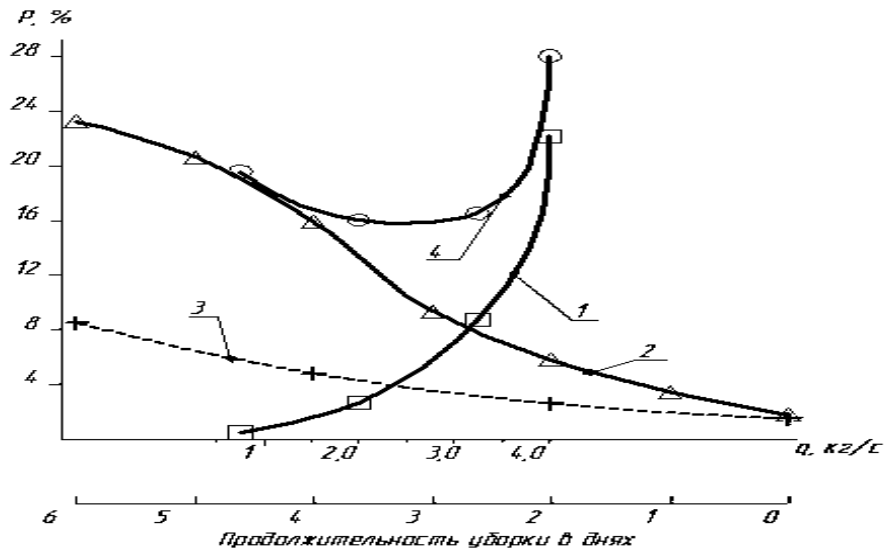


Рисунок 5 - Суммарные (сезонные) потери семян комбайном:

1 - зависимость потерь от производительности, %; 2 - зависимость потерь от срока уборки, %; 3 - зависимость потерь от перестоя культуры, % (самоосыпание); 4 - сумма потерь, % (при сложении показателей потерь кривых 1 и 2).

С учётом полученных в результате исследования данных, определены эмпирические зависимости возможных потерь семян из-за перестоя убираемых культур (самоосыпание):

$$P_{\text{п}} = 0,044T_6^2 + 1,027T_6 + 0,82, \quad (17)$$

где T_6 – число дней с момента наступления биологически полной спелости семян рапса.

Также были проведены исследования изменения потерь от конкретных сроков уборки (за 5-7 дней до полной спелости семян, в период полной спелости и на 5-7 дней позднее полной спелости). Результаты приведены на (рисунке 6).

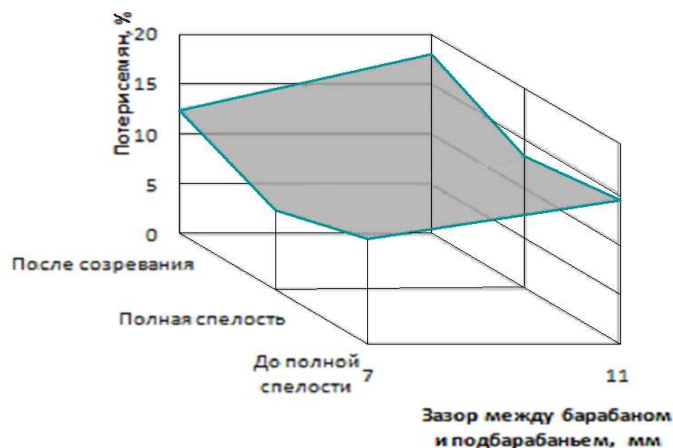


Рисунок 6 - Зависимость потерь семян рапса от фазы спелости, и зазора между барабаном и подбарабаньем при частоте вращения молотильного барабана 800 мин^{-1}

При обработке результатов исследований было выявлено, что при уборке за 5-7 дней до полной спелости семян, потери в среднем были в 1,32 раза выше,

чем при уборке в период полной спелости, но в 1,18 раза ниже, чем при уборке на 5-7 дней позднее.

Структура эксперимента предполагает многофакторную зависимость параметров оценки (потерь семян P , % за МСУ) от настроек МСУ: частоты вращения молотильного барабана n мин⁻¹, величины зазоров в подбарабанье z , мм.

Уравнение регрессии эксперимента в натуральных величинах выглядит следующим образом:

$$P = 8,61z + 9,21 \cdot 10^{-6} \cdot n^2 + 5 \cdot 10^{-4} \cdot n \cdot z - 0,39z^2 - 18,88 - 0,029n. \quad (18)$$

Данная модель показана на (рисунке 7) в виде поверхности отклика в трёхмерном пространстве.

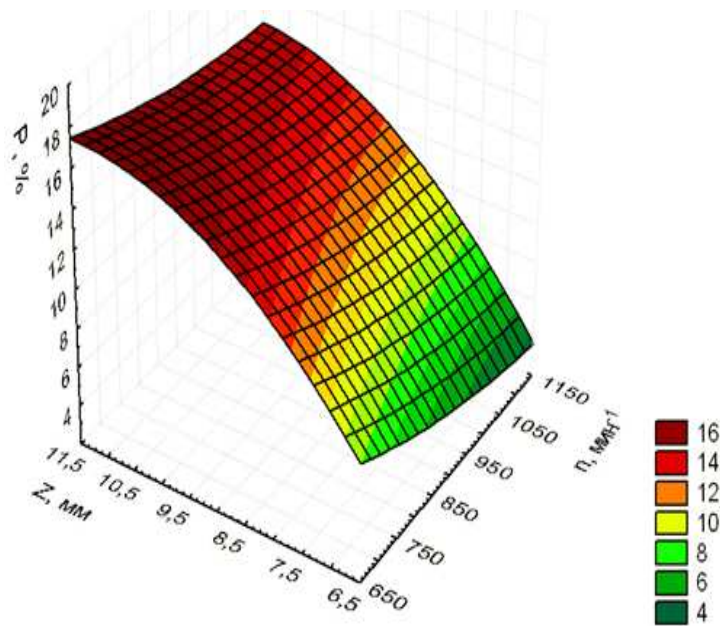


Рисунок 7 - Зависимость потерь за молотилкой зерноуборочного комбайна (P , %): в зависимости от частоты вращения барабана (n , мин⁻¹) и зазоров в подбарабанье на выходе (z , мм) при влажности семян рапса $W=26\%$

На исследуемый процесс обмолота в большей степени влияет зазор между барабаном и подбарабаньем, чем частота вращения молотильного барабана.

В результате проведения факторного эксперимента 2^3 зависимости потерь семян (P) от влажности (W_c), скорости движения зерноуборочного комбайна (V_p) и урожайности (Q_p), и после исключения статистически незначимых коэффициентов уравнения регрессии было получено уравнение, определяющее связь потерь семян (%) от его влажности (%), от скорости движения зерноуборочного комбайна (км/ч) и урожайности (ц/га):

$$P = 69,69 - 2,2Q_p - 12,99V_p - 2,61W_c + 0,23Q_pV_p + 0,45V_pW_c + 0,066Q_pW_c, \quad (19)$$

Решая уравнение регрессии (15) относительно V_p при условии минимальных потерь семян при уборке, достигнутых в наших исследованиях

$P_M=5,48\%$, определяем предельный скоростной режим движения зерноуборочного комбайна в расчётных условиях, не допускающих, при всех прочих равных условиях, потерь более чем P_M :

$$V_p = \frac{Q_p(2,2 - 0,0667W_c) + 2,61W_c - 64,14}{0,23Q_p - 12,99 + 0,45W_c}. \quad (20)$$

Данное уравнение имеет смысл при следующем диапазоне параметров: урожайность семян рапса $13 \leq Q_c \leq 18$ ц/га; влажность семян рапса $21 \leq W_c \leq 26$ %.

Для расчёта скоростного режима движения зерноуборочного комбайна целесообразно принять типичную урожайность семян рапса в Ленинградской области $Q_c=17,98$ ц/га, а влажность семян также типичную для Ленинградской области $W_c=25\%$, тогда подставляя данные в выражение (20) получим: $V_p = 4,46$ км/ч;

Подставляя данные полученные ранее: урожайность растительной массы, $Q_p = 75$ ц/га; возможная пропускная способность комбайна, $g_b=2,375$ кг/с в выражение 16 получим оптимальную теоретическую скорость (м/с) перемещения комбайна $V^* = 1,30$ м/с=4,68 км/ч.

Погрешность между экспериментально полученным скоростным режимом движения комбайна и теоретическим составляет $\Delta V=4,81\%$.

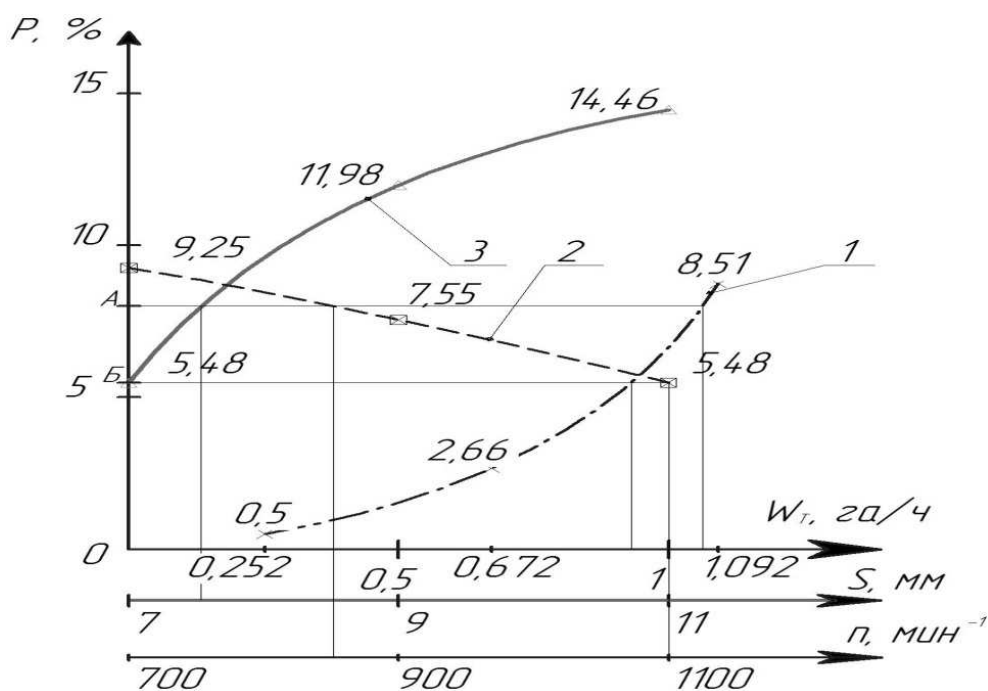


Рисунок 8 – График зависимости потери семян (P , %) от: 1. - производительности комбайна (W_t , га/ч); 2. - зазора между барабаном и подбарабаньем на выходе (S , мм); 3. - частоты вращения молотильного барабана (n , мин⁻¹).

На рисунке 8 показаны графический расчёт оптимальных режимов работы МСУ при влажности семян рапса от 24-26 %, урожайности 18 ц/га, диапазон скоростного режима движения комбайна $4,76 \leq V \leq 4,25$ км/ч

По результатам исследований была разработана программа для определения рациональных настроек рабочих органов и скорости движения зерноуборочных комбанов при уборке рапса в зависимости от влажности и урожайности, а также вычисления биологических потерь от перестоя рапса. (рисунок 9).

Сорт рапса	Оредеж 4	
Полевая урожайность семян рапса, ц/га, Q		17
Влажность семян рапса, %, W		25
Число дней с момента наступления биологически полной спелости семян рапса		1
Пропускная способность комбайна, кг/с		9,5
Ширина жатки зерноуборочного комбайна, м		6,7
Результаты расчётов:		
Рекомендованная скорость, км/ч V		4,00
Возможные потери семян от перестоя рапса, %, P _n		1,89
Расчётное значение потерь, %		5,73
Частота вращения молотильного барабана, мин ⁻¹		1100
Зазор на выходе, мм		7

Рисунок 9 - Фрагмент программы

В пятом разделе «Экономическая эффективность» приведены результаты экономической эффективности от внедрения в использование точных сроков уборки рапса, а также технологических настроек молотильно-сепарирующего устройства зерноуборочного комбайна в соответствии с общепринятой методикой оценки результатов научно-исследовательских работ.

Экономическая эффективность рассчитывалась, исходя из процента выхода готовых семян, расхода топлива, и амортизационных отчислений.

При стандартной уборке рапса семена начинают убирать при наступлении спелости семян верхнего яруса, тем самым жертвуя семенами среднего и нижнего ярусов.

Главное преимущество в применении уборки рапса в срок оптимальной спелости в том, что снижается вероятность самоосыпания рапса, тем самым снижаются риски загрязнения почвы сорняками дикорастущего рапса. Хозяйствам не надо проводить мероприятия по их удалению, что снижает финансовую нагрузку.

Также была проведена ориентировочная прогнозная оценка экономической эффективности применения молотильного устройства по пат. 2453103 МПК А01F12/28 по сравнению с зерноуборочным комбайном с заводским молотильным устройством.

Расчёты показали, что проведение предлагаемых настроек позволит снизить эксплуатационные затраты на 713,48 руб./т, а при использовании предлагаемого молотильного устройства себестоимость семян прогнозно понизится на 969,34 руб./т.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ

1. Анализом литературных источников по исследованиям способов уборки семян рапса зерноуборочным комбайном установлено, что известные технологические настройки молотильно-сепарирующего устройства зерноуборочного комбайна (МСУ) рассчитаны на обмолот семян рапса с влажностью до 13%. Климатические особенности Северо-Западного региона таковы, что рапс при уборке поступает в комбайн переувлажненным, влажностью до 27 %. Известные технологические настройки МСУ не позволяют эффективно вести обмолот семян такой влажности.

2. Обосновано влияние сроков и продолжительности уборки рапса на потери семян. На третий день после наступления биологической спелости потери семян от перестоя составляют 4,29%, а на шестой день достигают величины 8,53%.

3. Подтверждена зависимость производительности зерноуборочного комбайна от состояния растительной массы рапса: влажности семян, стручков и стеблей; засорённости посевов. Так, при влажности семян 25%, стручков 32%, стеблей 38% и засоренности посевов 3% производительность комбайна снижается на 15,2% по сравнению с уборкой рапса при нормальных условиях – влажность семян 13%.

4. Экспериментальными исследованиями установлены математические зависимости потерь семян рапса повышенной влажности от частоты вращения n молотильного барабана и зазора Z между барабаном и подбарабаньем на выходе, а также зависимости потерь семян от скоростного режима движения комбайна V_p , урожайности Q_c и влажности семян W_c . Минимальные потери семян рапса при уборке $P=5,48\%$ достигаются при следующих технологических настройках МСУ: минимальный зазор между барабаном и подбарабаньем $Z=7$ мм и максимальной частоте вращения молотильного барабана $n=1100$ мин⁻¹. За счёт рациональных настроек молотильно-сепарирующего устройства комбайна потери семян рапса за молотилкой (по результатам исследований) снижаются более чем в 3 раза с 17,41% до 5,48%. На основании полученных математических моделей была разработана программа по определению рациональных настроек рабочих органов и скорости движения зерноуборочных комбайнов при уборке рапса в зависимости от влажности и урожайности семян, а также вычисления биологических потерь от перестоя рапса.

5. Для уборки семян рапса влажностью $21 \leq W_c \leq 26$ % и урожайностью $13 \leq Q_c \leq 18$ ц/га получена математическая модель по определению скоростного режима движения зерноуборочного комбайна при минимальных потерях. Так для характерных условий Ленинградской области: влажности семян рапса $W_c=24-26\%$ и урожайности семян $Q_c=18$ ц/га, скоростной режим движения комбайна должен находиться в пределах $4,25 \leq V \leq 4,76$ км/ч, при этом показатель суммарных потерь будет находиться в диапазоне $5,48 \leq P \leq 8$ %.

6. Рассчитанный годовой экономический эффект за счёт снижения эксплуатационных затрат составляет 713,48 руб./т, а при использовании

предлагаемого молотильного устройства (Пат. 2453103 МПК А01F12/28) прогнозно себестоимость намолоченных семян понизиться на 969,34 руб./т.

ДАЛЬНЕЙШИЕ РАЗВИТИЕ ТЕМЫ

1. Изготовление и установка на зерноуборочный комбайн молотильного устройства, разработанного по пат. 2453103 МПК А01F12/28, и проведение исследования по изучению процесса обмолота и сепарации семян рапса данным молотильным устройством в условиях повышенного увлажнения.

Основные положения диссертации отражены в следующих работах

Статьи в журналах, рекомендованных ВАК РФ

1. Власенков, А.Н. Результаты исследования уборки и послеуборочной обработки высоковлажных семян рапса / А.Н. Перекопский, А.Н. Власенков, С.В. Чугунов // Известия СПбГАУ №23. – СПб.: СПбГАУ, 2011. - С. 456-460.

2. Власенков, А.Н. Семян рапса можно собрать больше / А.Н. Власенков С.В. Чугунов // Сельский механизатор. – 2012. - № 6. – С.10-11.

3. Власенков А.Н. Результаты исследования потерь семян рапса при уборке от настройки агрегатов комбайна / А.Н. Перекопский, А.Н. Власенков Известия СПбГАУ №.29 – СПб.: СПбГАУ, 2012, - С. 245-248.

Изобретения и полезные модели

4. Пат. 2453103 МПК А01F12/28 (2006.01) Молотильное устройство / М.И. Липовский, А.Н. Перекопский, А.Н. Власенков. - № 2010144275/13; Заявлен 28.10.2010; 20.06.2012 Бюл. № 17 с.: ил.

Статьи в сборниках научных трудов и отраслевых журналах

5. Власенков, А.Н. Показатели работы комбайна SAMPO 500 на уборке рапса / А.Н. Перекопский, А.Н. Власенков, С.В. Чугунов // Сборник статей профессорского - преподавательского состава ВГСХА, 2009.- С.25-27

6. Власенков, А.Н. Технологические особенности процессов уборки и послеуборочной обработки семян рапса в условиях Ленинградской области / А.Н. Перекопский, А.Н. Власенков, С.В. Чугунов // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства: сб. науч. тр. / ГНУ СЗНИИМЭСХ Россельхозакадемии Вып. 81. СПб; 2009. - С .57-61.

7. Власенков, А.Н. Уборка и послеуборочная обработка семян рапса в условиях Ленинградской области./ А.Н. Власенков, С.В. Чугунов // Научное обеспечение развития АПК в условиях реформирования. – СПб.: СПбГАУ, 2009. - С. 311-314.

8. Власенков, А.Н. Повышение эффективности уборки и послеуборочной доработки семян рапса в Северо-Западном регионе РФ / А.Н. Перекопский, А.Н. Власенков, С.В. Чугунов // Международный агропромышленный конгресс «Крупный и малый бизнес в АПК: роль, механизмы взаимодействия, перспективы»: материалы для обсуждения. - СПб, 2009. - С.126.

9. Власенков, А.Н. Обоснование настроек молотилки зерноуборочного комбайна при уборке рапса / А.Н. Перекопский, А.Н. Власенков // Энергоресурсосберегающие технологии и технические средства для их обеспечения в сельскохозяйственном производстве: материалы Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых. - Минск, 2010. - С.76–78.

Подписано в печать 16.05.2013 г.
Формат 60x84 1/16 Бумага офсетная
Тираж 100 экз. Заказ №84
Отпечатано на ризографе
ГНУ СЗНИИМЭСХ Россельхозакадемии
196625, Санкт-Петербург, Павловск, Филътровское шоссе, 3