

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ СОИ И ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР В СИСТЕМЕ БИОЛОГИЧЕСКОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

Сюмак А.В.<sup>1</sup>, Мунгалов В.А.<sup>2</sup>, Тильба В.А.<sup>1</sup>, Доценко С.М.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ГНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт сои» Россельхозакадемии, Благовещенск, Россия (675027, Амурская область, г. Благовещенск, Игнатьевское шоссе, 19), e-mail: [amursoja@gmail.com](mailto:amursoja@gmail.com)

<sup>2</sup> ФГБОУ ВПО «Дальневосточный государственный аграрный университет», Благовещенск, Россия (Амурская область, Благовещенск, Политехническая, 86), e-mail: [dalgau@tsl.ru](mailto:dalgau@tsl.ru)

В статье определена проблема повышения урожайности сои и зерновых культур, отражена актуальность разработки и освоения почвообрабатывающих и других сельскохозяйственных машин с активным приводом рабочих органов. Рассмотрена биотехнологическая система производства сои и зерновых культур, включающая трёхпольный короткоротационный севооборот. Разработана модель оценки эффективности производства сои и зерновых культур в короткоротационном трёхпольном севообороте, установлены зависимости и получены выражения для расчёта параметров предложенной технологии и технических средств. Приведены результаты полевых исследований, производственной проверки и энергетической оценки опытных образцов техники. Отражены результаты анализа основных показателей технико-экономической эффективности ресурсосберегающих технологий.

Ключевые слова: урожайность, плодородие, эффективность, возделывание, соя, зерновые, биотехнология, система, севооборот, почва, техника, испытание.

## THEORETICAL BASIS AND EXPERIMENTAL RESULTS TO IMPROVE THE EFFICIENCY OF CULTIVATION OF SOYBEANS AND GRAINS IN THE SYSTEM OF BIOLOGICAL LAND DELIA

Syumak A.V.<sup>1</sup>, Mungalov V.A.<sup>2</sup>, Tilba V.A.<sup>1</sup>, Dotsenko S.M.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> State institute, Russian-wide research-and-development institute of soy of Russian Agricultural Academy, city Blagoveshchensk

<sup>2</sup> Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "Far Eastern State Agrarian University"

In the article is defined the issue of increasing soy and grain crops fertility, also reflected the currency of development and mastering of soil cultivating and another agricultural machines with active drive tips. Has been considered a biotechnological output system of soy and grain crops, which includes three-field short rotary crop rotation. A model of evaluation of the effectiveness of soy and grain crops in short rotary three-field crop rotation, the dependence and expressions for calculating the parameters of the proposed technology and equipment. There are described the results of field testings, output checkup and energetic assessment of advanced equipment samples. In addition, there are reflected the analysis results of essential indicators of technical and economic efficiency of resource-conserving technologies.

Key words: yield, fertility, efficiency, cultivation, soy, grain crops, biotechnology, system, crop rotation, soil, testings, checkup.

Проблема повышения урожайности сои и зерновых может быть решена успешно лишь на основе системы мероприятий, ключевое место среди которых принадлежит научно обоснованным севооборотам и новому поколению технических средств для их реализации [1].

Проведенный анализ существующих технологий и технических средств возделывания сои и зерновых культур показал, что в них не упоминается о системах биологического улучшения плодородия почвы, а также технических средствах нового поколения. Анализ комбинированных почвообрабатывающих широкозахватных агрегатов показывает, что агрегати-

руются они тяжелыми колесными тракторами класса 5 и более, и в силу многократных технологических проходов обладают техногенным воздействием на почву, в результате чего она уплотняется, уменьшается ее пористость, и тем самым инактивируется жизнедеятельность аэробных микроорганизмов. При этом на агрегатирование данных орудий затрачивается от 30 до 60% мощности энергосредства и требуется большой расход топлива. Для значительного снижения этих показателей требуется разработка и освоение почвообрабатывающих и других сельскохозяйственных машин с активным приводом рабочих органов.

При разработке биотехнологической системы, связанной с производством сои и зерновых культур, за основу принята биотехнологическая система, включающая короткоротационный трёхпольный севооборот: пар с сидератом на основе естественного травостоя; зерновые (пшеница, ячмень) и соя.

Формализованная модель получения продукции в 3-польном звене севооборота представлена на рисунке 1.

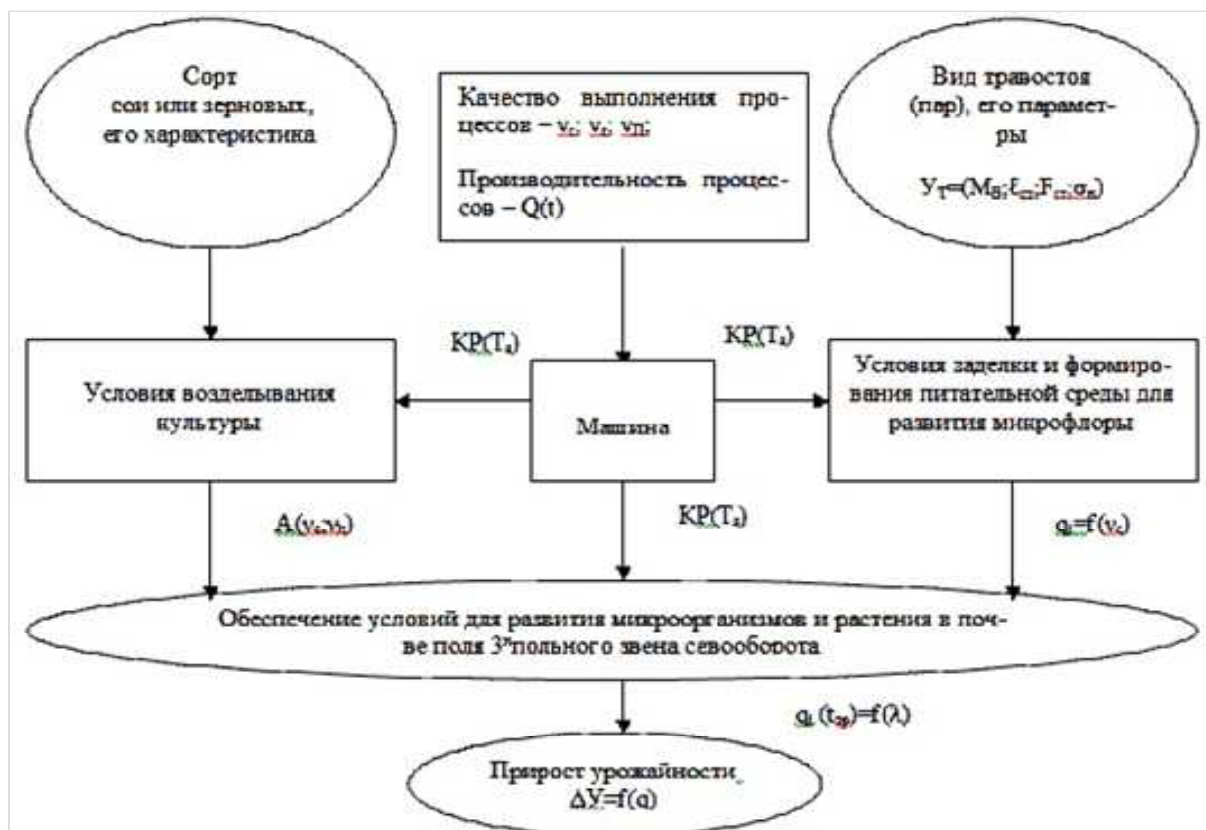


Рисунок 1 – Формализованная модель получения продукции в 3-польном звене севооборота

Проведенный анализ внешних и внутренних связей параметров биотехнологической системы в их совокупности позволяет представить экономико-математическую модель оценки её функционирования в следующем виде:

$$\left\{ \begin{array}{l} ПЗ = \sum_{i=1}^u (I_i + EK_i) \rightarrow \min \\ \Delta C = \sum_{j=1}^2 \Delta V_j \cdot S_j \cdot C_{pj} \rightarrow \max \end{array} \right., \quad (1)$$

где  $ПЗ$  – приведенные затраты по процессам возделывания сои и зерновых культур в 3-польном звене севооборота;  $I_i$  – эксплуатационные затраты по процессам возделывания;  $K_i$  – капитальные вложения по процессам возделывания;  $\Delta C$  – стоимость дополнительной продукции – сои и зерновых, полученной в результате реализации принятой технологии и разработанных технических решений;  $\Delta V_j$  – приращение урожайности сои и зерновых в результате реализации новой технологии и технических средств;  $S_j$  – площадь, на которой возделываются соя и зерновые;  $C_{pj}$  – реализационная цена сои и зерновых.

Составляющая модели (1) –  $\Delta Y$ , на основании проведенного анализа, может быть представлена следующим образом:

$$\Delta Y_j = \sum_{i=1}^2 (a_i + b_i q) \rightarrow \max, \quad (2)$$

где  $a$ ,  $b$  – эмпирические коэффициенты;  $q$  – содержание гумуса (питательных веществ) в почве.

Таким образом, в дальнейшем необходимо определить методологические и технологические подходы к выявлению зависимостей, характеризующих данные показатели биотехнологического процесса производства сои и зерновых в 3-польном звене короткоротационного севооборота при условии, что  $ПЗ \rightarrow \min$ , а  $\Delta C \rightarrow \max$ .

Функционирование биотехнологической системы в 3-польном звене севооборота пар → зерновые → соя – пар с сидератом из естественного травостоя, включает два этапа, выполняемые в определённые агротехнические сроки.

Первый этап характеризуется получением необходимого и максимально возможного количества биологической массы –  $M_B$  естественного травостоя, при определенном воздействии совокупности факторов внешней среды – климат –  $\Phi 1(t)$ , ландшафт –  $\Phi 2(t)$ , рельеф поля –  $\Phi 3(t)$  и т.д.

Второй этап характеризуется воздействием совокупности биологических –  $B(t)$ , технологических –  $T(t)$  и конструктивно-режимных –  $KP(t)$  факторов на подсистему поле → субстрат → культура → машина.

Функционирование данной системы направлено на получение максимально возможного количества питательных веществ в почве, путем обеспечения оптимальных условий для биотрансформации органического вещества –  $q(t_{tr}) = f(\lambda)$ , где  $\lambda$  – степень дезинтеграции органических веществ.

Формализованная схема биотехнологической системы (БТС), с учетом перехода её состояний в 3-польном звене севооборота (для одного поля), представлена на рисунке 2.

Согласно данной схеме, в начальный период происходит накопление питательных веществ в травостое с параметрами  $M_B$ ,  $\ell_{cm}$ ,  $\sigma_6$ ,  $F_{cm}$ . Получение субстрата с размером частиц субстрата  $\ell_c$ , обусловленного степенью измельчения стеблестоя  $\lambda_i(t_{mp})$  в процессе его механической обработки, с одновременным рыхлением почвы и заделкой.

При этом для запуска биологической подсистемы в рассматриваемой системе в «работу» необходимо обеспечить оптимальные условия для жизнедеятельности микроорганизмов:

$$q(t_{TP}) = f(\lambda; v_c; W_{II}; t^o; O_2; N) \rightarrow opt, \quad (3)$$

где  $v_c$  – неравномерность однородности почвенно-травяного субстрата;  $W_{II}$ ;  $t^o$ ;  $O_2$ ;  $N$  – параметры среды (водно-воздушный и температурный режимы в почве).

Процесс биотрансформации для получения биомассы при её превращении в гумус можно представить, как

$$q_i = q_n \cdot e^{-ct_{TP}}, \quad (4)$$

где  $q_i$ ,  $q_n$  – текущее и начальное значения содержания биомассы;  $t_{mp}$  – продолжительность биотрансформации органических веществ в почве;  $c$  – эмпирический коэффициент, учитывающий интенсивность биотрансформации.

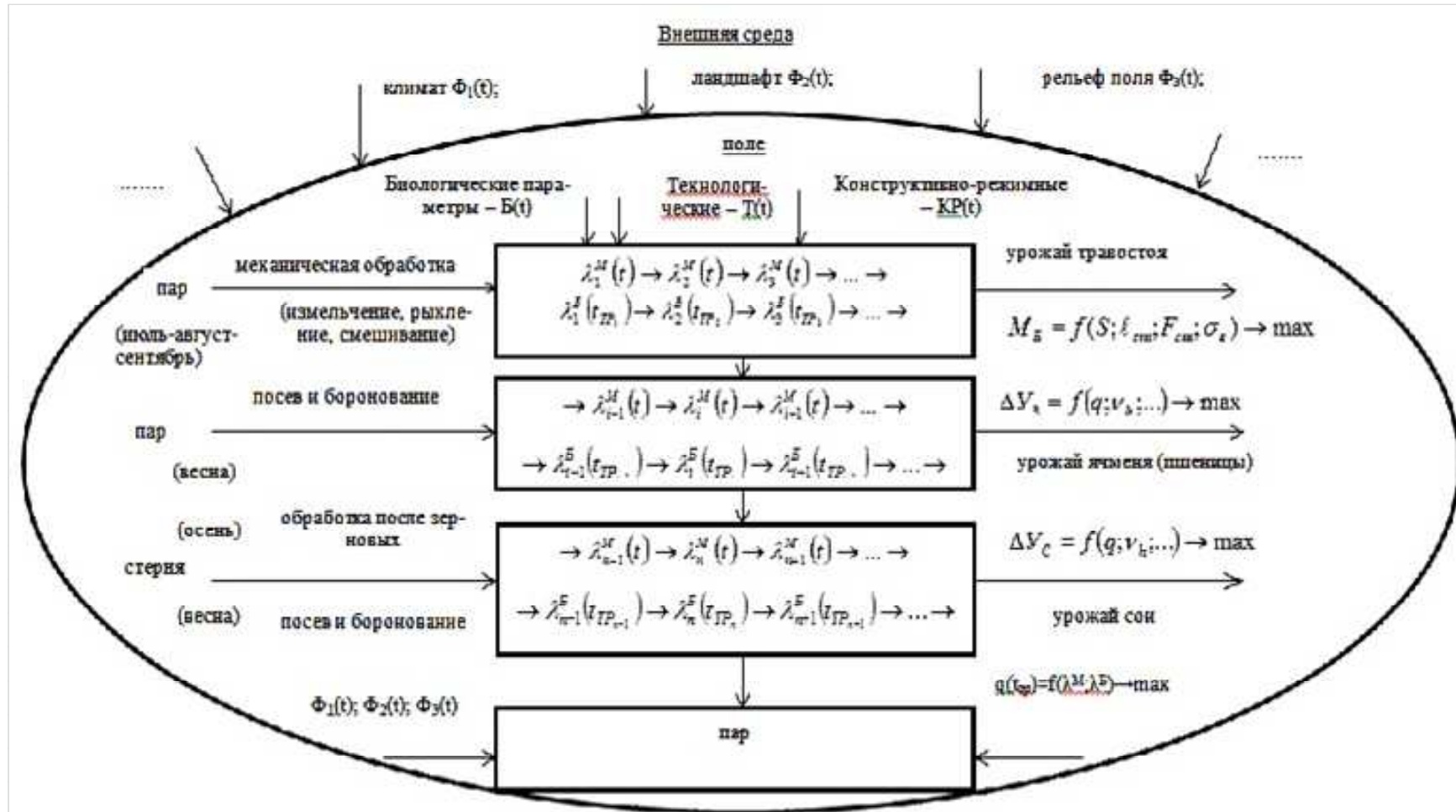


Рисунок 2 - Формализованная схема перехода состояний биотехнологической системы в 3-польном звене севооборота (для одного поля)

Преобразование выражения (4) относительно параметра  $t_{TP}$  дает

$$t_{TP} = \frac{2,3}{\psi} \ln \left[ \frac{\lambda \cdot V_u \cdot \rho_u}{S_{TP}} \right] / R_{TP} \cdot \left( \frac{V_u \cdot \rho_u}{S_u} \right), \quad (5)$$

где  $\psi$  – эмпирический коэффициент, учитывающий условия процесса биотрансформации;  $S_{TP}$ ,  $S_u$  – площадь, занятая травостоем и частицами.

По физической сути продолжительность процесса биотехнологической трансформации является функцией степени разрушения частиц в общем её смысле:

$$t_{TP} = \psi_o \ln(\lambda^M \cdot \lambda^B), \quad (6)$$

где  $\psi_o = 2,3/\psi$ ;  $\lambda^M$  – степень механического разрушения исходной биомассы;  $\lambda^B$  – степень биологического разрушения измельченной биомассы.

Биотехнологический подход к созданию оптимальных условий в почвенной локальной среде обосновали на основе физического закона росообразования и разработанной для данных условий модели.

Энергия, необходимая на разрушение стебля, с учетом процесса биотрансформации, определится, как

$$\Pi = \frac{W_{изз} \cdot \sigma_{вн} \cdot e^{-c\psi_o \ln(\lambda^M \cdot \lambda^B)}}{E \cdot I_x} \int_0^{\ell} \left[ \frac{\sin^2 k \cdot \ell + \sin^2 k \cdot \ell}{\sin k \cdot \ell \cdot ch \cdot k \cdot \ell + \sin k \cdot \ell \cos k \cdot \ell} \cdot \cos k \cdot z \cdot ch \cdot k \cdot z - \cos k \cdot z \cdot sh \cdot k \cdot z - \sin k \cdot z \cdot ch \cdot k \cdot z + \frac{\cos^2 k \cdot \ell + \cos^2 k \cdot \ell}{\sin k \cdot \ell \cdot ch \cdot k \cdot \ell + \sin k \cdot \ell \cos k \cdot \ell} \cdot \sin k \cdot z \cdot sh \cdot k \cdot z \right] dz, \quad (7)$$

где  $\ell$  – длина стебля;  $W_{изз}$  – момент сопротивления изгибу поперечного сечения стебля;  $\lambda^M$  – степень разрушения материала;  $\sigma_{вн}$  – предел прочности стебля и т.д. при растяжении;  $c$  – коэффициент, учитывающий влияние управляемых и неуправляемых факторов на процесс разрушения, кДж/кг;  $E I_x$  – жесткость стебля при изгибе;  $sh$ ,  $ch$  – гиперболический синус и косинус.

На основании полученной модели обоснована скорость  $v_a$  агрегатирования таких технических средств, как роторный плуг с активными рабочими органами, сеялка-культиватор с лаповыми сошниками, а также пальцево-пружинная борона, учитывающая их энергетические и конструктивно-режимные параметры:

$$v_a = \frac{\Pi \cdot K_{cm} \cdot S}{c \cdot \lambda^M \cdot M_{cm} \cdot B \cdot T_a} + \frac{Q \cdot S}{\lambda^M \cdot M_{cm} \cdot B} \quad (8)$$

где  $K_{cm}$  – количество разрушаемых стеблей, шт;  $S$  – площадь, обрабатываемая агрегатом, м<sup>2</sup>;  $B$  – ширина захвата агрегата, м;  $M_{cm}$  – масса стеблестоя, кг;  $v_a$  – скорость движения агрегата, м/с;  $T_a$  – время работы агрегата, ч;  $Q$  – производительность агрегата по разрушению стеблей стерни и т.д.

По данным Мельникова С.В., коэффициент  $C$  в формуле (8) принимается равным: для разнотравья –  $C=0,7-0,9$  кДж/кг; для стерни: ячмень –  $C=0,91-1,17$  кДж/кг; пшеница –  $C=0,84-1,08$  кДж/кг; соя –  $C=1,2-1,3$  кДж/кг.

Процесс биотехнологического улучшения плодородия почвы характеризуется, прежде всего, активацией водного, воздушного и температурного режимов (ВВТ), поддерживающих жизнедеятельность живых организмов – аэробных микроорганизмов и растения, на которые они в конечном итоге «работают».

На рисунке 3 приведена формализованная модель получения продукции в биотехнологической системе почва→субстрат→зерно→растение→продукция→машина.

При разработке каждой из технических подсистем (рис. 3) должны учитываться факторы, оказывающие влияние на интенсивность ВВТ режима. Такими факторами являются технологические  $T(t)$ , к которым необходимо отнести влажность и температуру почвы, её плотность и т.д., а также конструктивно-режимные параметры применяемых технических средств –  $KP(t)$ . При этом на процесс формирования ВВТ оказывает влияние и множество случайных, неуправляемых факторов, учесть действие которых невозможно.

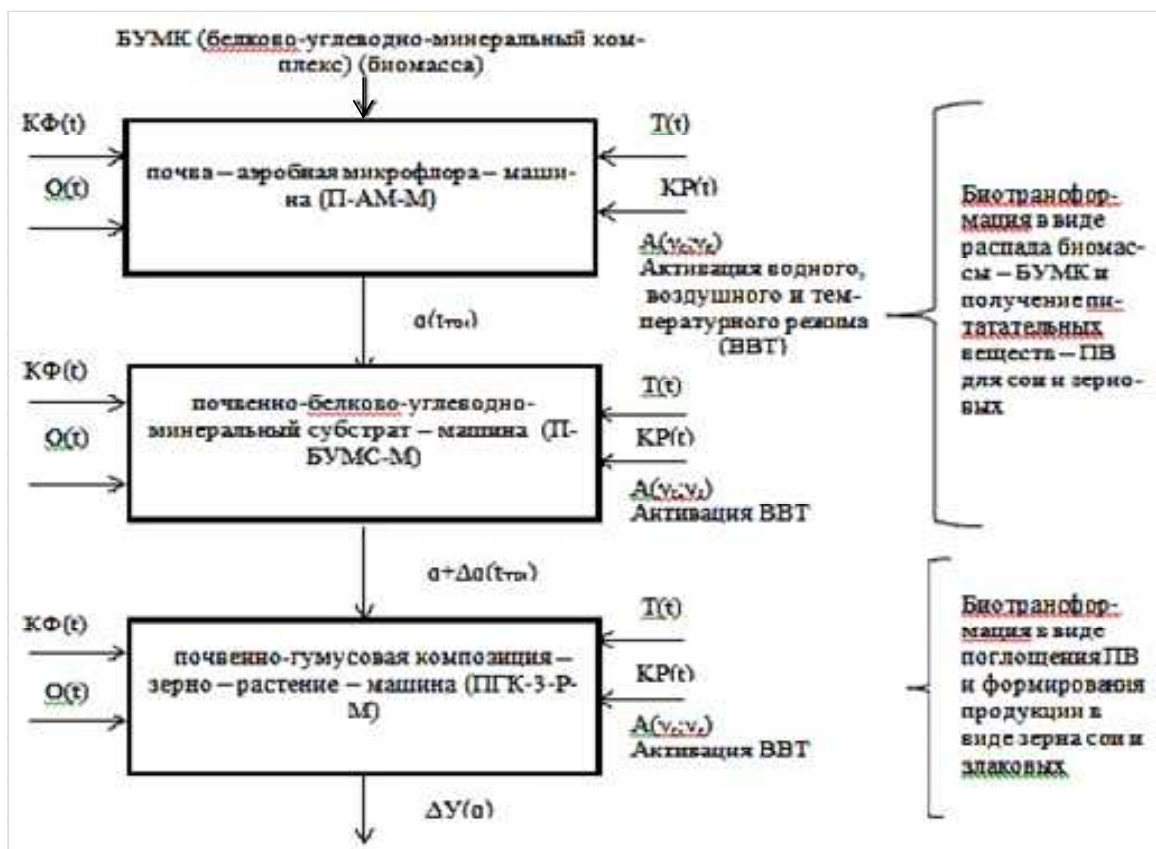


Рисунок 3 – Формализованная модель получения продукции в биотехнологической системе почва→субстрат→зерно→растение→продукция→машина

В этой связи определенный интерес представляет возможность оценки формирования ВВТ режима с использованием методов теории вероятностей.

Изменение параметров процесса формирования ВВТ режима для жизнедеятельности микроорганизмов и растений можно рассматривать как стационарный случайный процесс, обладающий свойством эргодичности по отношению к математическому ожиданию и корреляционной функции.

Рассмотрение процесса биотехнологического улучшения плодородия почвы при возделывании сои и зерновых культур с учетом необходимости активации ВВТ режимов в определенные агротехнические сроки позволило обосновать подходы к оценке показателей качества процессов измельчения стеблей и рыхления почвы с одновременной их заделкой на паровом поле:

$$\pm v_c = \frac{2}{M_m} \left( \frac{2D_M \cdot \Delta \ell_0 + D_M \cdot v_a \cdot T_a \cdot e^{-\alpha \Delta \ell_0} \cdot \cos \beta \cdot \Delta \ell_0}{v_a \cdot T_a} \right)^{1/2} \leq [v_c], \quad (9)$$

для оценки процесса боронования и культивации (рыхления субстрата):

$$\pm v_\varepsilon = \frac{2}{\varepsilon} \left( \frac{2D_\varepsilon \cdot \Delta \ell_0 + D_\varepsilon \cdot v_a \cdot T_a \cdot e^{-\alpha \Delta \ell_0} \cdot \cos \beta \cdot \Delta \ell_0}{v_a \cdot T_a} \right)^{1/2} \leq [v_p], \quad (10)$$

для оценки процесса посева сои и зерновых культур:

$$\pm v_{II} = \frac{2}{h} \left( \frac{2D_n \cdot \Delta \ell_o + D_n \cdot v_a \cdot T_a \cdot e^{-\alpha \Delta \ell_o} \cdot \cos \beta \cdot \Delta \ell_o}{v_a \cdot T_a} \right)^{1/2} \leq [v_{II}], \quad (11)$$

где  $[v_c]$ ;  $[v_\varepsilon]$ ;  $[v_{II}]$  – допустимые значения неравномерности соответствующих процессов (получения почвенно-травяного субстрата, рыхления почвы и заделки семян);  $\alpha$ ,  $\beta$  – параметры корреляционной функции, учитывающие соответственно характер ее убывания и колебания;  $\varepsilon$  – степень рыхления почвы;  $h$  – глубина заделки семян;  $D_M$ ,  $D_\varepsilon$ ,  $D_{II}$  – дисперсия случайных величин соответствующих процессов.

Полученные зависимости (9-11) характеризуют качество выполнения технологических процессов предложенными техническими средствами нового поколения на обработке сидеральных паров с заделкой сидерата в верхний слой почвы активными рабочими органами, не создающими плужной подошвы, посева сои и зерновых сошником в виде стрелчатой лапы, а также рыхление почвы и уничтожение сорняков во время боронования посевов пружинно-пальцевой бороной с регулировкой зубьев по глубине обработки почвы и углу атаки, обеспечивающей активную работу почвенной биоты, повышающей эффективность возделывания сои и зерновых в системе биологического земледелия.

Для рассматриваемой системы «почва – роторный плуг» уравнение баланса биологической массы сидерата на одном гектаре поля пара при  $n$ -обработках, при получении исходного и последующего размера частиц субстрата, имеет вид:



$$\frac{\sum V_{cm} \cdot \rho_{cm}}{S_{травостоя}} = (\lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_3 \dots \lambda_n) \cdot \frac{\sum V_{ч} \cdot \rho_{ч}}{S_{травостоя}}, \quad (12)$$

$$\text{где } \lambda_i = \frac{\ell_{cm}}{\ell_{ч}} \rightarrow opt \quad (13)$$

Для процесса рыхления по

$$\rho_1 = E \cdot \rho_o \rightarrow opt, \quad (14)$$

где  $E$  – степень рыхления почвы.

Оптимальную степень рыхления можно достичь при соблюдении того условия, что будет обеспечена однородность структурных характеристик (состава) в системе «биологическая масса частиц растений – почва», которую можно оценить неравномерностью распределения биологической массы и почвы –  $v_c$  (однородности субстрата) по длине гона –  $L_G$ , кг/м.

Зависимость данного критерия оптимизации от влияющих на него факторов, в общем виде, можно представить, как

$$v_c = f(L_G; R; \lambda_i; v_a; \omega_g; \Delta B; R_g; \Delta \alpha; Z_g; t_g; \dots) \rightarrow 0, \quad (15)$$

где  $v_a$  – скорость движения агрегата;  $\Delta B$  – отклонения от заданной ширины захвата агрегата;  $\Delta \alpha$  – отклонение от заданного угла атаки;  $R_g$  – радиус диска плуга;  $\omega_g$  – угловая скорость вращения диска плуга;  $Z_g$  – число дисков на роторе плуга;  $t_g$  – шаг установки дисков.

На основе выражения (12) можно записать

для первой обработки:

$$\lambda_1 = \frac{V_{cm}^o \cdot \rho_{cm} \cdot B \cdot v_a \cdot T_a}{V_{ч1} \cdot \rho_{ч1} \cdot Z_g \cdot t_g \cdot \cos \alpha \cdot v_a \cdot T_a}, \quad (16)$$

для второй обработки:

$$\lambda_2 = \frac{\lambda_1 \cdot V_{ч1} \cdot \rho_{ч1} \cdot B \cdot v_a \cdot T_a}{V_{ч2} \cdot \rho_{ч2} \cdot Z_g \cdot t_g \cdot \cos \alpha \cdot v_a \cdot T_a}, \quad (17)$$

для третьей обработки:

$$\lambda_3 = \frac{\lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot V_{ч2} \cdot \rho_{ч3} \cdot B \cdot v_a \cdot T_a}{V_{ч3} \cdot \rho_{ч3} \cdot Z_g \cdot t_g \cdot \cos \alpha \cdot v_a \cdot T_a}, \quad (18)$$

для  $n$ -й обработки сидерата:

$$\lambda_n = \frac{(\lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_3 \dots \lambda_{n-1}) \cdot V_{ч_{n-1}} \cdot \rho_{ч_{n-1}} \cdot B \cdot v_a \cdot T_a}{V_{ч_n} \cdot \rho_{ч_n} \cdot Z_g \cdot t_g \cdot \cos \alpha \cdot v_a \cdot T_a}. \quad (19)$$

где  $T_a$  – время работы агрегата.

С учетом выражений (6) и (12) можно записать, что  $t_{TP1} = \psi_o \ell n \left[ \frac{1}{(R_{mp} \cdot \lambda_1)} \right]$ ;

$$t_{TP2} = \psi_o \ell n \left[ \frac{1}{(R_{mp} \cdot \lambda_2)} \right].$$

С другой стороны, такие параметры плужного агрегата, как  $v_a$  и  $\omega_g$  в совокупности с зубьями на рабочем органе (диске), определяют размер получаемых частиц травостоя. При этом угол атаки  $\alpha$  характеризует процесс резания стеблей как процесс резания со скольжением при условии, что  $\omega_g > v_a$ , а  $\omega_g/v_a > 1$ . Однако данный процесс как процесс чистого резания рассматривать не следует. Наиболее близкой моделью для данного процесса, как установлено ранее, является модель, в соответствии с которой он рассмотрен как процесс разрушения балки на упругом основании.

При этом тот факт, что такой фактор, как  $\omega_g/v_a$ , определяет степень измельчения стеблей, является неоспоримым.

Следовательно,

$$\lambda_k = L_g / Z_3, \quad (20)$$

где  $L_g$  – перемещение агрегата за один оборот диска плуга;  $Z_3$  – число зубьев – ножей на одном диске.

Выражение (20) можно представить, как

$$\lambda_k = \frac{2\pi \cdot R_g \cdot v_a}{\omega_g \cdot R_g \cdot Z_3} = \frac{2\pi \cdot v_a}{\omega_g \cdot Z_3} \leq [\ell_v], \quad (21)$$

где  $[\ell_v]$  – требуемая длина частиц.

Приравнявая в выражениях (16-19) и (21) правые части и решая полученное равенство относительно параметра  $v_a$ , получили:

$$v_a = \frac{1,8(\lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_3 \cdot \dots \cdot \lambda_{n-1}) \cdot V_{чn-1} \cdot \rho_{чn-1} \cdot B \cdot \omega_g \cdot Z_3}{\pi \cdot V_{чn} \cdot \rho_{чn} \cdot Z_g \cdot t_g \cdot \cos \alpha} \leq [v_a]. \quad (22)$$

Анализ выражения (22) показывает, что в зависимости от порядкового номера обработки поля в соответствующие агротехнические сроки необходимо выбирать свою определенную скорость движения агрегата, с целью обеспечения им требуемых значений показателей качества –  $\ell_v(t_{mp})$  и  $v_c(L_T)$ .

Проведенный анализ показывает, что в зависимости от угла атаки активных рабочих органов роторного плуга и глубины обработки почвы силы, возникающие от взаимодействия с почвой, будут изменяться. Это в свою очередь оказывает влияние не только на затраты мощности по обработке почвы, но изменяет и условия работы агрегата, в частности устойчивость хода рабочих органов, его технико-экономические показатели и надежность.

В результате теоретических исследований установлен характер зависимости сил сопротивления движению плуга от угла атаки и глубины обработки почвы, а также рассмотрено состояние его равновесия в условиях установившегося режима работы с учетом параметра  $v_a$ , определяемого по выражению (22).

В процессе экспериментальных исследований, на основании априорного ранжирования в качестве основных факторов, влияющих на процесс получения почвенно-травяного субстрата, определены следующие:

$\omega_g$  – угловая скорость вращения сферических дисков,  $c^{-1}$  ( $x_1$ );  $\alpha$  – угол атаки дисковой батареи, град. ( $x_2$ );  $t_n$  – шаг установки дисков, м ( $x_3$ ).

За критерий оценки принята неоднородность получаемого субстрата: по травостой –  $v_C^T$ , по ячменной стерне –  $v_C^g$  и по соевой стерне –  $v_C^c$ , %.

В результате проведенных исследований получены следующие математические модели оценки процесса приготовления почвенно-травяного субстрата:

$$v_C^T = 164,08 - 1,306\omega_g - 0,894\alpha - 146,88t_g + 0,003\omega_g \cdot \alpha - 2,500\alpha \cdot t_g + 0,0029\omega_g^2 + 0,021\alpha^2 + 479,7t_g^2 \rightarrow \min; \quad (23)$$

$$v_C^g = 225,77 - 1,984\omega_g - 0,350\alpha - 165,51t_g - 2,50\alpha \cdot t_g + 0,0048\omega_g^2 + 0,025\alpha^2 + 510,78t_g^2 \rightarrow \min; \quad (24)$$

$$v_C^c = 192,06 - 1,733\omega_g - 0,412\alpha - 84,803t_g - 0,375\omega_g t_g - 2,187\alpha \cdot t_g + 0,004 \cdot \omega_g^2 + 0,022\alpha^2 + 510,83t_g^2 \rightarrow \min. \quad (25)$$

Анализ полученных математических моделей позволяет заключить, что оптимальные параметры роторного плуга находятся в следующих пределах:  $-\omega_g = 202,4 - 208,8c^{-1}$ ;  $-\alpha = 17,20 - 19,28$ град.;  $-t_g = 0.197 - 0.209$ м, при которых  $v_C = 3,55 - 5,32\%$ .

На основании теоретических и экспериментальных исследований также разработаны и изготовлены опытные образцы лаповых сошников для посева зерновых культур по соевой стерне и для посева сои широкополосным способом, а также секции сеялки-культиватора, для установки сошников, с параллелограммным механизмом крепления к раме машины, обеспечивающие равномерность заделки семян по глубине и по площади образуемой полосы без перемешивания семян с почвой во время посева.

Экспериментально установлено, что расстановка лаповых сошников с расстоянием между ними в поперечной плоскости 0,225 м, шириной перекрытия – 0,045 м обеспечивает равномерный по площади посев зерновых культур.

При этом расстановка сошников с расстоянием между рядами составляет 0,88 м, что обеспечивает качественное выполнение посева, без технологических нарушений. Предложенный экспериментальный сошник обеспечивает снижение тягового сопротивления на 22,7% по сравнению с сошником традиционной компоновки.

Полевые испытания и энергетическая оценка машины в агрегате с трактором МТЗ-82 показали, что при скоростях движения  $v_a = 2,8 \dots 3,3$  м/с происходит качественное выполнение технологических операций по предпосевной подготовке почвы (рыхление почвенного субстрата на глубину заделки семян с подрезанием сорняков) и посева, и обеспечивается рацио-

нальная загрузка энергосредства. Буксование движителей не превышает допустимого и находится в пределах 4,6...4,9% на посевах зерновых по соевой стерне [2].

Показатели урожайности зерновых культур приведены в таблице 1.

Из таблицы 1 видно, что урожайность зерновых культур резко отличается по годам. Так, во влажные 2002 и 2003 годы урожайность пшеницы и ячменя была в 1,7-3,7 раза выше, чем в типичные для региона относительно сухие 2001 и 2004 годы.

Таблица 1 – Урожайность зерновых культур при постановке полевых опытов

Агрофон	Урожайность, ц/га			
	Пшеница		Ячмень	
	2001 г.	2002 г.	2003 г.	2004 г.
Зяблевая вспашка	8,1	28,0	29,5	11,6
Безотвальная обработка	7,6	28,6	21,5	12,4
Стерня сои	11,1	24,1	26,0	13,9
НСР <sub>05</sub>	1,8	5,0	5,9	1,9

Полевые опыты подтверждают данные других ученых о преимуществе прямого посева зерновых культур, что отчетливо проявляется в годы относительно сухой весны.

Результаты экспериментальных исследований по изучению процесса рыхления почвенного субстрата во время широкополосного способа посева сои лаповым сошником с углом наклона семяпровода вперед на  $+15^\circ$  по ходу движения агрегата показали, что одним из основных критериев, влияющих на качество рыхления почвы и посева, является оптимальная скорость движения агрегата, равная  $v_a=2,8...3,3$  м/с.

После посева сои устанавливались учетные площадки и проводились операции по уходу за посевами.

Урожайность сои по способам посева за период 2008-2010 гг. представлена в таблице 2. Таблица 2 – Урожайность сои в производственных условиях 2008-2010 гг.

Способы посева сои	Годы закладки опытов			
	2008	2009	2010	Среднее значение
	Биологическая (фактическая) урожайность, т/га			
Рядовой сеялкой СЗ-3,6 с междурядьем 0,15 м	-	1,60 (1,44)	1,42 (1,27)	1,51 (1,36)
Широкорядный посев сои с междурядьем 0,45 м машиной ММУ-3,6 с двухдисковыми сошниками	1,68 (1,51)	2,31 (2,14)	2,35 (2,19)	2,11 (1,95)
Широкополосный посев сои комбинированными лаповыми сошниками с междурядьем 0,45 м машиной ММУ-3,6.	2,44 (2,26)	2,83 (2,66)	3,26 (3,08)	2,84 (2,67)
НСР <sub>05</sub>	0,41	0,43	0,86	-

В производственных условиях на посевах сои машиной ММУ-3,6 с лаповыми сошниками в сравнении с посевами серийной сеялкой СЗ-3,6 получена урожайность сои соответственно 2,84 и 1,51 т/га, то есть на 1,33 т/га больше. Это говорит о том, что лаповый сошник создает наиболее благоприятные условия для роста и развития растений.

Для определения оптимальных конструктивно-технологических параметров процесса боронования (по уничтожению сорняков в стадии «белых нитей») использовалась методика многофакторного эксперимента.

В процессе исследований установлено, что на качество процесса боронования наибольшее влияние оказывают следующие факторы: расстояние между пружинными зубьями бороны ( $b$ , м), угол атаки зубьев ( $\alpha$ , град.) и скорость движения бороновального агрегата ( $v_a$ , м/с) [3]. Получено уравнение регрессии, которое имеет следующий вид:

$$y = -30 + 963b + 87,2\alpha_p + 8,24v - 18125b^2 - 32,2\alpha_p^2 - 1,22v^2$$

В результате обработки экспериментальных данных определены оптимальные значения параметров бороны: расстояние между зубьями бороны  $b=0,03\pm 0,005$  м; угол атаки зубьев  $\alpha=65-85^\circ$ ; рекомендуемая скорость движения агрегата  $v_a=1,9-3,3$  м/с.

Экспериментальные исследования опытного образца секционной пружинной бороны в полевых условиях показали, что при влажности почвы 18% в горизонте 0-0,10 м пружинные зубья интенсивно рыхлят почву на установленную глубину обработки, равную 0,025 м, крупные комки почвы более 5 см отсутствовали, гребнистость поверхности поля была в пределах 0,025 м после прохода агрегата.

Уничтожение сорных растений за один проход по полю в среднем равно 65%, а повреждение культурных растений не превышало 2%.

Значения урожайности сои за период 2008...2010 гг. в зависимости от количества боронований представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Урожайность сои в зависимости от количества боронований бороной пружинной с регулировкой зубьев на глубину 0,025 м

Вариант	Годы закладки опытов			
	2008	2009	2010	Среднее значение
	урожайность, т/га			
Без боронования	0,98	1,1	1,07	1,05
Одно слепое боронование	1,68	1,96	1,93	1,85
Два слепых боронования	1,70	1,97	1,95	1,87
Два слепых + одно по всходам боронования	2,26	2,41	2,32	2,33
Полный уход за посевом (без гербицидов)	2,26	2,48	2,30	2,35

Проведенные теоретические расчеты по определению тягового усилия предлагаемой бороны хорошо согласуются с нашими экспериментальными данными.

Так, в пределах скоростей  $v_a=1,9...3,2$  м/с движения пружинно-пальцевая бороны может работать по схеме широкозахватного агрегата в составе сцепки типа СГ-21 и агрегатироваться тракторами класса 1,4...2,0, качественно выполняя технологический процесс по рыхлению почвы (разрушая почвенную корку), уничтожению сорняков, сохранению и накопле-

нию влаги и выравниванию поверхности поля, создавая условия для формирования планируемых урожаев.

Производственной проверке результатов исследований предшествовали разработка нового способа воспроизводства плодородия почвы в короткоротационных севооборотах [4; 5], технической документации и изготовление на ее основе опытных образцов машин нового поколения: орудия для воспроизводства плодородия почвы с активным приводом рабочих органов [6]; многофункциональной машины со сменными рабочими органами для предпосевной обработки почвы, посева и ухода за посевами [7-11]; секционной бороны с регулировкой зубьев по глубине для ухода за посевами [12; 13].

Предложенная технолого-техническая система позволила уйти от глубокой основной обработки почвы за одну ротацию севооборота, основанного на вертикальном способе обработки почвы активными дисковыми рабочими органами на глубину до 15 см с одновременной заделкой биомассы в верхнем слое почвы, что изменяет процесс влагооборота поля в лучшую сторону и способствует сохранению, а также восстановлению плодородия почвы. При этом создаются оптимальные условия влагообеспеченности растений в ранний период развития, что основано на физическом законе росообразования и согласуется с данными И.Е. Овсинского.

Результаты фоновых агрохимических обследований полей за 9-летний период по внедрению региональной ресурсосберегающей технолого-технической системы с полем сидерального пара для производства экологически чистой продукции растениеводства в КФХ «Деметра» показали увеличение гумуса на 1,2% [14], а в КФХ «Жуковина С.А.» за трехлетний период на 0,4%, что положительно отразилось на восстановлении плодородия почвы и повышении урожаев [15].

Многолетняя производственная проверка почвообрабатывающего орудия с активным рабочим органом в агрегате с трактором МТЗ-82 на обработке сидеральных паров в вышеуказанных КФХ подтвердила то положение, что мелкая заделка растительной массы на глубину 0...8...10 см способствует не только быстрому её разложению, но и продуктивному прорастанию семян и росту корневой системы растений. Проведенная широкая хозяйственная проверка результатов исследований путем использования разработанных технологических и технических решений позволила установить следующие зависимости:

$$\text{для прироста содержания гумуса в почве } q = 3,0 + 0,133t_{TP} ; \quad (26)$$

$$\text{для прироста урожайности ячменя } \Delta Y_{Я} = 26,1 + 24\Delta q_{Я} ; \quad (27)$$

$$\text{для прироста урожайности сои } \Delta Y_{С} = 14,2 + 46\Delta q_{С} , \quad (28)$$

где  $t_{TP}$  – продолжительность биотрансформации биомассы, равная 3 годам;  $\Delta q_Y, \Delta q_C$  – прирост содержания гумуса в почве в принятом звене севооборота при возделывании ячменя и сои.

Результаты анализа основных показателей технико-экономической эффективности ресурсосберегающих технологий с комплексом машин нового поколения в сравнении с базовыми технологиями и серийными техническими средствами показывают существенное снижение всех видов затрат. Так, эксплуатационные затраты в новом варианте по сравнению с традиционными сокращаются на ячмене на 51,82%; на сое - на 56,05%; капитальные вложения соответственно на 52,63 и 51,94%; затраты труда на 53,85 и 22,58%. Уменьшение количества технологических операций на возделывании ячменя и сои позволили снизить расход топлива соответственно в 1,3 и в 1,5 раза по сравнению с базовыми технологиями. Экономия топлива на 1 га пашни составляет 20 кг при возделывании ячменя, 22 кг при возделывании сои, а урожайность получена больше соответственно на 36 и 88%.

Таким образом, вариант предложенной технологии с техническими средствами нового поколения значительно эффективнее традиционных технологических и технических решений и обеспечивает восстановление плодородия почвы.

### Список литературы

1. Сюмак А.В. Система технологий и машин для комплексной механизации растениеводства Амурской области на 2011-2015 гг. / под общ. ред. И.В. Бумбар, А.Н. Панасюк, В.А. Тильба. – Благовещенск : ДальГАУ, 2011. – 263 с.
2. Сюмак А.В. Комбинированный многооперационный агрегат для возделывания сои / А.В. Сюмак, Г.И. Орехов, Н.М. Присяжный // Тракторы и с.-х. машины. - 1992. - № 5. - С. 10-15.
3. Сюмак А.В. Агротехнические показатели работы бороны (БПРЗ-1,2) на бороновании посевов сои / А.В. Сюмак, А.А. Цыбань и др. // Технология и средства механизации производства и переработки сельскохозяйственной продукции АПК ДВ : сб. научн. тр. ГНУ «ДальНИИМЭСХ Россельхозакадемии». – Благовещенск, 2010. – С. 182-186.
4. Способ воспроизводства плодородия почвы в короткоротационных севооборотах / А.В. Сюмак, Ю.П. Кириленко, В.В. Русаков : патент РФ № 2363126, опубл. 10.08.2009. Бюл. № 22.
5. Способ увеличения эффективного плодородия почвы / А.В. Сюмак, Ю.П. Кириленко, В.В. Русаков : патент РФ № 2387120, опубл. 27.04.2010. Бюл. № 12.
6. Почвообрабатывающее орудие / А.В. Сюмак, В.В. Русаков, Ю.П. Кириленко : патент РФ № 2453086, опубл. 20.06.2012. Бюл. № 17.
7. Сошник стерновой сеялки / А.В. Сюмак, Г.И. Орехов : патент РФ № 2219696, опубл. 27.12.2003. Бюл. № 36.

8. Секция сеялки – культиватора / А.В. Сюмак, Г.И. Орехов, Ю.В. Терентьев : патент РФ № 2222881, опубл. 10.02.2004. Бюл. № 4.
9. Секция сеялки – культиватора / А.В. Сюмак, Г.И. Орехов, Ю.П. Кириленко и др. : патент РФ № 2268561, опубл. 27.01.2006. Бюл. № 36.
10. Лаповый сошник / А.В. Сюмак, В.А. Мунгалов, А.В. Селин : патент РФ № 2369070, опубл. 10.10.2009. Бюл. № 28.
11. Комбинированный дисковый сошник / А.В. Сюмак, А.В. Селин, В.А. Мунгалов : патент РФ № 2381642, опубл. 20.02.2010. Бюл. № 5.
12. Секция бороны с регулировкой зубьев по глубине для ухода за посевами / А.В. Сюмак, Ю.П. Кириленко, В.В. Русаков : патент РФ № 72111, опубл. 10.04.2008. Бюл. № 10.
13. Шарнирно-пружинная борона для ухода за посевами / А.В. Сюмак, В.А. Мунгалов, А.В. Селин : патент РФ № 93198, опубл. 27.04.2010. Бюл. № 12.
14. Протокол № 02-23-08 (1210012) Государственных приёмочных испытаний «Технологической системы биологического направления в КФХ «Деметра» производства картофеля». – С. Зеленый Бор, 2008. – 15 с.
15. Протокол № 02-04-10 (12.10.012) от 25.11.2010 г. приёмочных испытаний «Технологическая система биологического направления производства зерновых и сои в трёхпольном севообороте». – С. Зелёный Бор, 2010. – 40 с.

**Рецензенты:**

Курков Юрий Борисович, доктор технических наук, профессор, проректор по научной работе, ФГБОУ ВПО «ДальГАУ», г. Благовещенск.

Самуйло Виктор Вацлавович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Эксплуатация и ремонт транспортно-технологических машин и комплексов», ФГБОУ ВПО «ДальГАУ», г. Благовещенск.