

Н.Н.Хоменко, Н.А. Шпаковский
Беларусь, Минск

Существенный фактор повышения урожайности зерновых и трав – качественное проведение почвообработки и предпосевного выравнивания микрорельефа. Необходимость данного агроприема обусловлена тем, что из-за неровной поверхности поля почва неравномерно увлажняется, затягивается ее поспевание и начало полевых работ. Застаивающиеся в понижениях рельефа поверхностные воды приводят к вымочке посевов. Из-за неровностей ограничивается рабочая скорость посевных и уборочных агрегатов, и, следовательно, снижается эффективность использования энергонасыщенных тракторов, повышаются затраты на производство сельхозпродукции. На невыровненном поле трудно добиться одинаковой глубины заделки семян. Семена прорастают неодновременно, всходы появляются ослабленные. Из-за неравномерной заделки семян и вымокания посевов урожайность зерновых по разным оценкам снижается на 15....30%.

Устранить эти недостатки можно за счет планировки и выравнивания поверхности поля. Принцип действия существующих выравнивателей и длиннобазовых планировщиков, оснащенных одним или несколькими пассивными рабочими органами, примерно одинаков. Рабочий орган (отвал) срезает возвышения рельефа и транспортирует почву, засыпая впадины. Поле при этом утрамбовывается, а полное выравнивание поверхности достигается за несколько проходов. Следует отметить, что при работе пассивного отвала возникает следующее противоречие (рис 1):

- если отвал установлен на малую глубину, то не все углубления оказываются засыпанными - не хватает почвы.
- если же отвал установить на большую глубину, то излишек почвы сходит с него и образует валок.

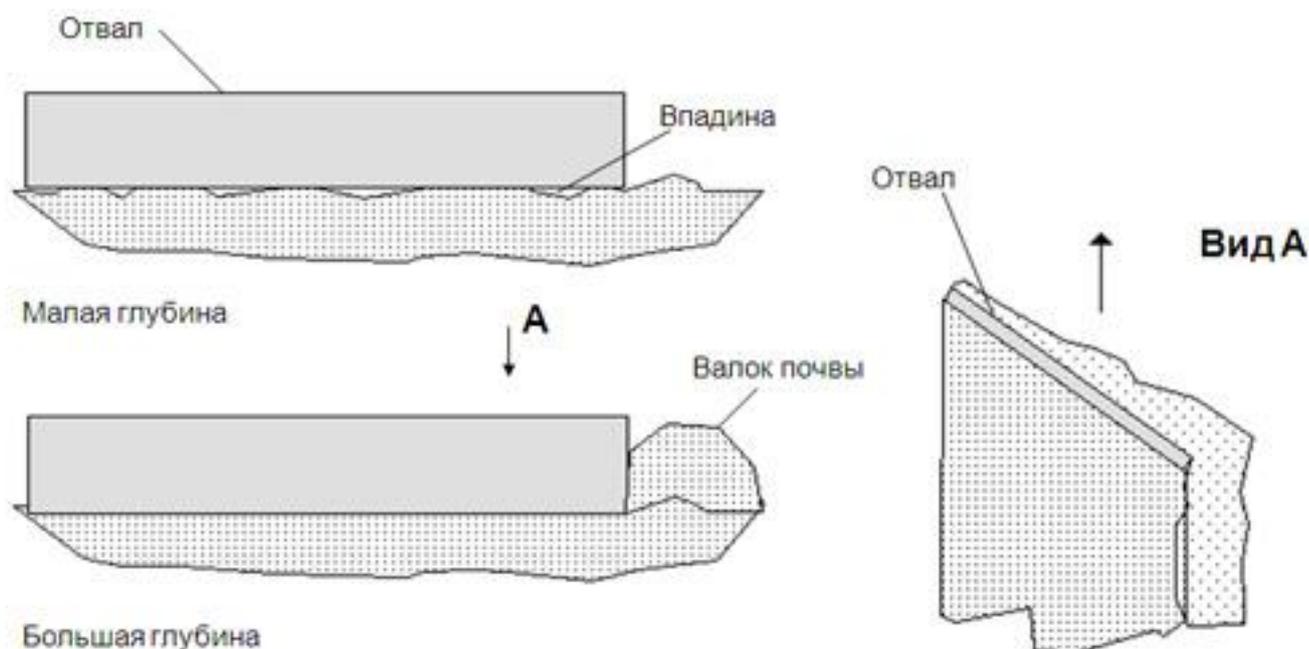


Рис.1. Выравнивание поверхности косопоставленным отвалом

Это противоречие было разрешено следующим приемом. Для полного выравнивания полосы прохода отвала он устанавливается на такую глубину, чтобы срезанной почвы заведомо хватало на засыпку всех углублений поверхности поля. Избыток почвы, сходящий с отвала в виде валка, разбивался роторным рабочим органом и равномерно разбрасывался по выровненной полосе (рис 2).

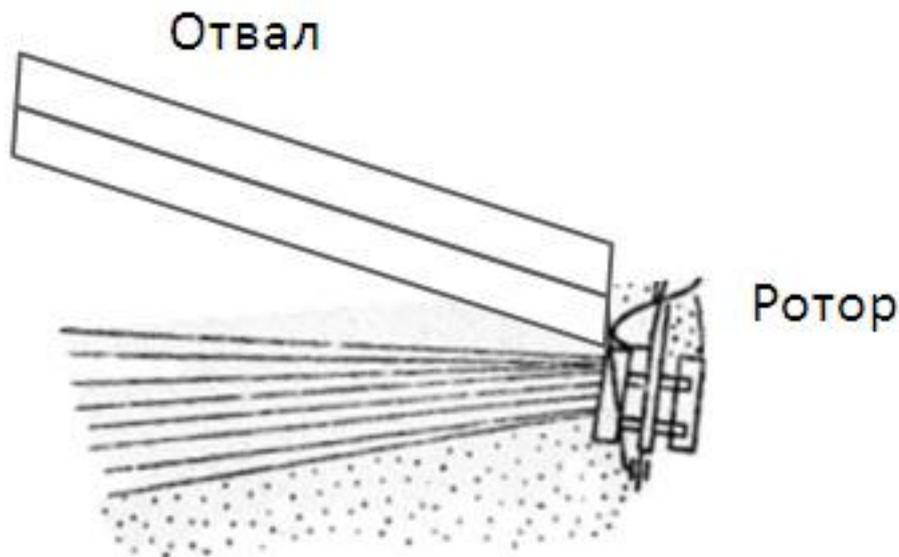


Рис. 2. Распределение почвы по выровненному ложу

На основе такого принципа выравнивания группой сотрудников ЦНИИМЭСХ (г. Минск), руководимой О. М. Мацепуро, был разработан пассивно-активный выравниватель-планировщик ВП-3,6 (Рис.3). Выравниватель-планировщик выполнен в полунавесном варианте и представляет собой установленные на раме 1 два боковых косо поставленных отвала 2. Между боковыми отвалами установлены углом вперед центральные отвалы 3, соединенные своими передними частями. В зазоре между боковыми и центральными отвалами установлены делитель потока почвы 4 и роторные рабочие органы, представляющие собой шнеки 5 и лопастные метатели 6. Роторные рабочие органы установлены под углом друг к другу. За делителем установлен опорный каток 7. Все рабочие органы выравнивателя смонтированы на раме 8, установленной на гидрофицированном колесном ходу 9. Для транспортировки по дорогам боковые отвалы могут складываться.

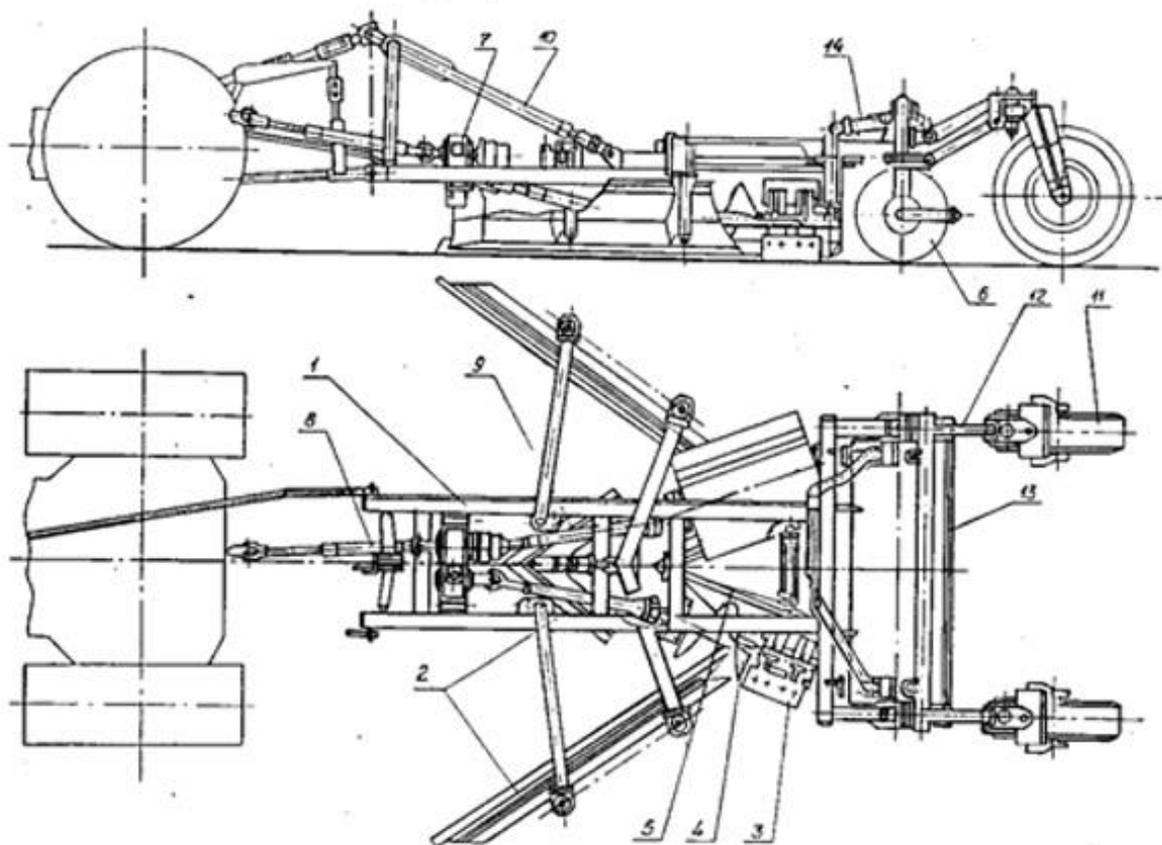


Рис.3. Выравниватель-планировщик ВП-3,6

1. Рама. 2. Отвалы (боковой и центральный). 3. Метатель. 4. Шнек. 5. Делитель. 6. Каток. 7. Редуктор. 8. Карданный вал. 9. Механизм складывания отвалов. 10. Тяга. 11. Транспортные колеса. 12. Гидропривод. 13. Чистик катка. 14. Гидропривод

При работе выравнивателя (Рис.4) отвалы срезают верхний слой почвы и перемещают ее к середине машины. При этом впадины, расположенные ниже уровня среза, засыпаются, остальная почва собирается в валок. Валок разбивается делителем на два потока, каждый из которых захватывается соответствующим шнеком, подается на лопасти метателя, измельчается и разбрасывается по поверхности поля слоем 2...5 см. Шнеки совместно с боковыми отвалами и делителем образуют своеобразную систему дозирования почвы при ее подаче к метателям. Это обеспечивает высокую равномерность распределения рыхлой почвы по поверхности поля.

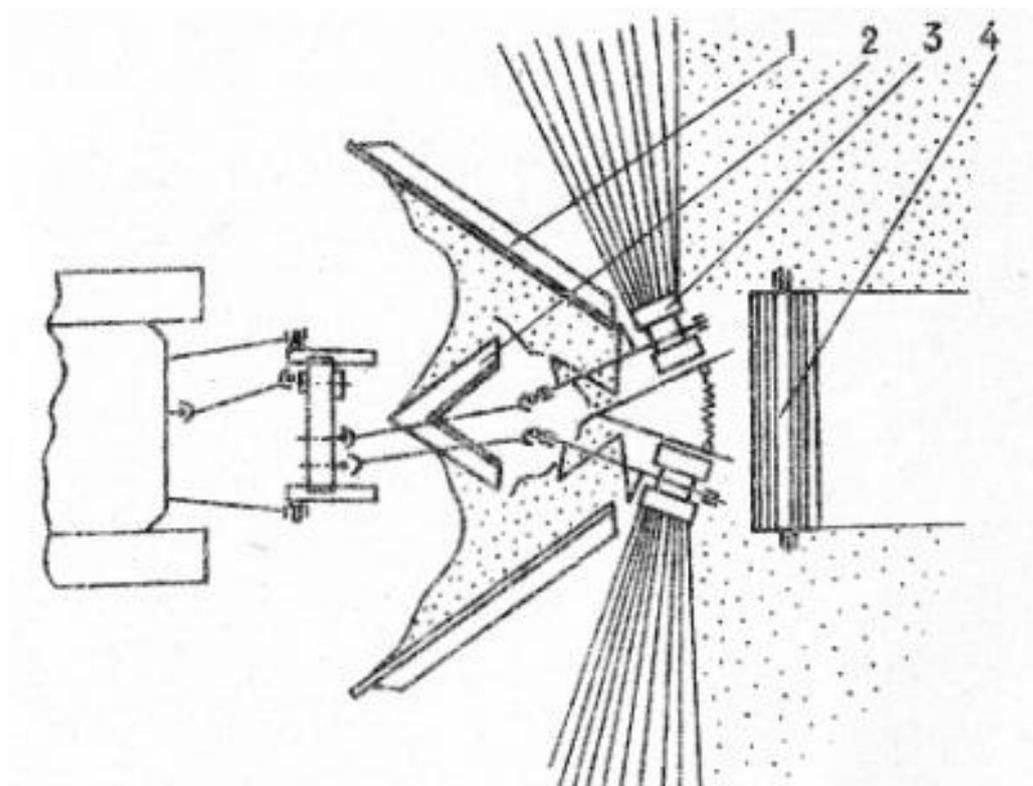


Рис. 4. Выравниватель в работе

Государственные испытания и многолетняя эксплуатация выравнивателя-планировщика ВП-3,6 в различных климатических зонах СССР показали его высокую эффективность: урожайность зерновых увеличивалась на 4... 10 ц/га, трав (зеленой массы) - на 51...86,6 ц/га.

Технология выравнивания с одновременной обработкой почвы, осуществляемая ВП-3,6, имеет значительные преимущества перед традиционной. Однако конструкция выравнивателя-планировщика ВП-3,6 имеет высокую металлоемкость и сравнительно низкую надежность на почвах, засоренных камнями. Попытки устранить эти недостатки на существующей конструкции (повысить механическую прочность узлов и деталей, увеличить зазоры, установить демпферы и тп) не дали значимого эффекта. Было решено использовать методику ТРИЗ и ФСА.

При проведении ФСА выравнивателя-планировщика ВП-3,6 был выбран метод функционально-стоимостного моделирования (свертывания). Данный метод разработан и применен на ЛПЭО «Электросила» для совершенствования выпускаемого электротехнического оборудования [2].

Одна из главных закономерностей развития техники – повышение степени идеальности технической системы (ТС) – выражается формулой:

$$И = \frac{\Phi}{З},$$

где: И - степень идеальности ТС, Φ – функциональные возможности ТС; З - суммарные затраты на проектирование, изготовление и испытания ТС. Таким образом эффективность ТС можно повысить путем снижения затрат и расширения функциональных возможностей ее элементов и системы в целом. Иными словами, в идеальной ТС отсутствуют все виды затрат

на нее, а функции выполняются. Свертывание исходной ТС направлено на построение идеальной ТС, имеющей минимальное число элементов, но сохраняющей или повышающей качество выполнения главной функции.

За исходную была принята конструкция, разработанная в 1980 г ГСКБ по ирригации г. Ташкента, показавшая хорошие результаты при проведении исследований и рекомендованная к производству опытной партией по результатам Госиспытаний (позиция в Системе машин МЗ. 4. 11).

Первоначальная цель анализа – снижение металлоемкости конструкции машины при повышении ее надежности и сохранении основной технологической схемы ее работы. Полученные в процессе работы дополнительные результаты позволили определить перспективы развития технологии предпосевного выравнивания почвы и машин, обеспечивающих ее выполнение.

При определении главной функции выравнивателя - планировщика возникла проблема определения оптимальной структуры верхнего слоя почвы при посеве мелкозернистых культур. Традиционная агрономическая наука рекомендует максимальное разрыхление пахотного слоя для увеличения доступа кислорода воздуха к корням растения и облегчения распространения корней растения; при этом для увеличения равномерности заделки семян по глубине рекомендуется прикатывание измельченного слоя. Русский агроном И. Е. Овсинский, основываясь на методе древней бесплужной обработки почвы, предложил другую структуру пахотного слоя – сплошное плотное ложе, на которое укладываются семена, укрытое сверху рыхлым слоем почвы с растительными остатками. Технология обработки почвы по Овсинскому заключается в ее подрезании на глубину заделки семян с интенсивным измельчением верхнего слоя. Этим обеспечивается оптимальный водно-воздушный режим в зоне высева семян. Рыхлый мульчированный слой почвы легко пропускает воздух, согревает семена и препятствует испарению влаги. Влага интенсивно выделяется на уплотненном ложе, за счет конденсации ее из воздуха при т.н. «дыхании» почвы - движении воздуха в почву и из почвы при изменении атмосферного давления. Кроме того, в нижнем, ненарушенном слое сохраняются капилляры, подсасывающие влагу снизу к поверхности, на которой лежит семя. Такая структура почвпосевного слоя позволяет обеспечить растение влагой даже в засушливый год. О. М. Мацепуро провел серию экспериментов и полностью воспроизвел результаты, полученные в свое время Овсинским. К аналогичным выводам пришел и шведский исследователь Хокансон.

После осознания важности результатов исследований Овсинского, Мацепуро и Хокансона была сформулирована главная функция усовершенствуемой ТС: «Образование сплошного выровненного уплотненного ложа на глубине заделки семян и укрытие его равномерно распределенным мульчированным слоем почвы».

В результате проведенного функционального и поэлементного анализа установлены функции анализируемой системы, ее узлов и деталей. Произведено разделение функций на основные, вспомогательные и ненужные; предварительно оценена стоимость их выполнения. Намечены возможности лучшего и более дешевого выполнения основных и вспомогательных функций, устранены ненужные и вредные и составлена матрица функций (Табл.1). На основании результатов исследований, государственных испытаний и оценки экспертами составлена диагностическая таблица (Табл.2), где определена условная суммарная оценка каждого узла выравнивателя.

Таблица 1

Матрица функций

Функции	Условия, при которых не нужно выполнять данную функцию	Выравниватель	Рама	Тяга телескопич.	Колесный ход	Гидросистема	Расклад. отвало	Отвалы боковые	Отвалы средние	Кардан привода	Редуктор	Муфта пред.	Кардан метат.	Шнеки с метат.	Делитель	Каток	Винты катка
Выравнивает поверхность и укрывает ее мульчей	Поверхность уже обработана	О															
Срезает слой почвы по сторонам прохода	Почва срезана заранее	О						О									
Сдвигает почву к середине прохода	Почва собрана в валки	О						О									
Срезает слой почвы по центру прохода	Почва срезается до или после прохода	О							О								
Сдвигает почву от середины прохода	Не нужно сдвигать почву для засыпки впадин	В							В								
Уплотняет поверхность	Поверхность уплотнена	О						О	О								
Делит поток почвы на два	Один метатель	В												В	О		
Проталкивает почву между отвалами	Хороший подпор, малое сопротивление	В												В			
Дозирует почву	Почва поступает ровным валком	В															
Задерживает почву	Достаточна величина окна							Н	Н								
Наматывает растительные остатки	Не будут захватываться													Н	Н		
Разбрасывает почву	Почва распределяется сама	В												В			
Разбивает комки распыляет почву	Если лопатки мягкие													Н			
Пропускает камни	Нет делителя потока	В						В	В					В			
Уплотняет середину прохода	Если машина не опирается на каток	Н														Н	
Забрасывает след катка соседнего прохода	Не будет следа катка	В												В			
Объединяет узлы и детали	Объединяются друг с другом	В	О	В		В	В										
Поддерживает в работе	Самоустановка	В		В												В	О
Изменяет глубину обработки	Изменяется автоматически	В		В												В	О
Передаёт вращение	Вращения от редуктора	В								О	О		О				
Выключает вращение	Нет перегрузки	В										О					
Вызывает вибрацию конструкции	Хорошая балансировка									Н		Н	Н	Н			
Вызывает ударные нагрузки	Нет камней												Н				
Переводит в транспортное положение	Не нужно	В		В		О	В										
Поддерживает в транспортном положении	Поддерживается навеской трактора	В			О	О	О										

Таблица 2

Результаты исследований, государственных испытаний и оценки экспертами

Узлы и сборочные единицы (Рис.2)	Характеристики и эксперты						Условная суммарная оценка
	Функциональная значимость	Трудоемкость	Материалоемкость	Степень беспокойства			
				Конструктор	Изготовитель	Потребитель	
ВРГ	экономист						
Рама	10	23	26	7	9	4	79
Отвалы боковые	12	7	8	6	6	4	43
Отвалы центральные	5	2	3	6	5	4	25
Шнеки с метателями	12	10	10	10	10	8	60
Делитель потока почвы	3	7	7	8	9	8	42
Редуктор	9	7	6	5	8	2	37
Муфта							
предохранительная	9	2	1	8	7	9	36
Карданы метателей	4	3	2	10	8	11	38
Колесный ход	3	14	16	9	7	9	57
Гидросистема	2	4	3	2	4	5	20
Телескопическая тяга	1	2	2	4	2	5	16
Механизм складывания							
отвалов	1	3	4	8	9	11	36
Каток	8	9	8	5	7	6	42
Винты подъема катка	8	3	3	4	2	3	23
Кардан привода	12	4	2	8	7	11	44

В соответствии с законом повышения степени идеальности [3], имеющие высокую суммарную оценку (Σ), целесообразно устранить, а их основные функции возложить на оставшиеся. Из диагностической таблицы установлено, что четыре узла, имеющие высокую суммарную оценку ($\Sigma=129$), нужны лишь для транспортировки машины, а при выполнении основной функции – выравнивание поля с образованием рыхлого мульчированного слоя – не работают. Таким образом решение очевидно – выполнить машину в навесном варианте и транспортировать на навесной системе трактора. Однако существующая схема ВП-3,6 не позволяет сделать это из-за значительной массы выравнивателя и большого расстояния между его центром масс и навесной системой трактора.

Для проведения свертывания элементов конструкции ВП-3,6 необходимо составить структурно-элементную схему выполняемого им технологического процесса (рис.5).

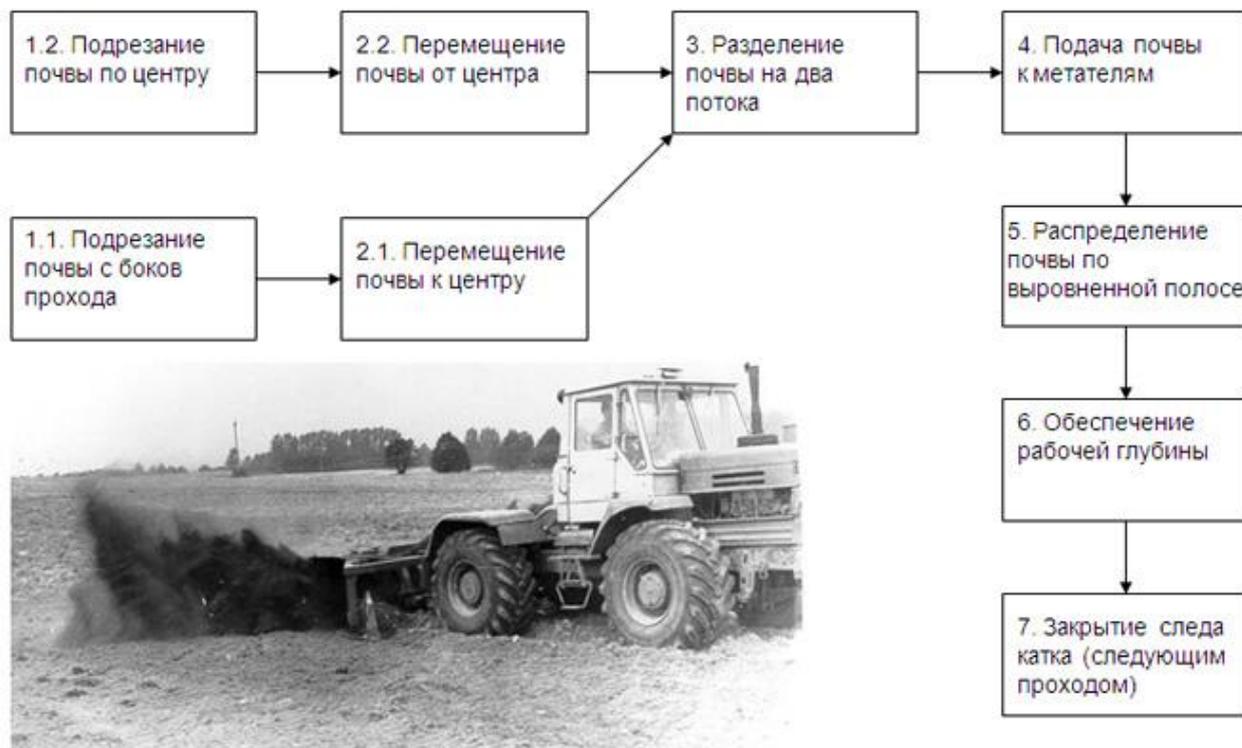


Рис.5. Структурно-элементная схема процесса работы выравнителя

На основании данной схемы и матрицы функций выравнителя составляется перечень нежелательных эффектов (НЭ), связанных с каждым элементом технологического процесса. На информационном этапе составляется первичный перечень НЭ. На аналитическом он пополняется НЭ, выявленными по данным диагностической таблицы в результате поэлементного и функционального анализа. Кроме того, выявляются скрытые резервы развития объекта, которые определяются его несоответствием закономерностям развития техники.

Поэлементные нежелательные эффекты

1. Срезание почвы

Рабочие органы: лемехи боковых и средних отвалов.

НЭ 1.1. Удары при контакте с камнями.

2. Перемещение почвы.

Рабочие органы: рабочие поверхности боковых и средних отвалов.

НЭ 2.1. Задерживание почвы в зазоре между боковыми и средними отвалами.

НЭ 2.2. Залипание оотвальных поверхностей в местах торможения потока почвы.

3. Деление потока почвы.

Рабочие органы: делитель потока почвы.

НЭ 3.1. Уменьшение проходного сечения между боковыми отвалами.

НЭ 3.2. Возможное заклинивание камней между шнеками и делителем.

НЭ 3.3. Дополнительное трение между почвой и поверхностью делителя.

НЭ 3.4. Налипание почвы на поверхность делителя.

4. Подача почвы к метателям.

Рабочие органы: шнеки.

НЭ 4.1. Наматывание на шнеки растительности.

НЭ 4.2. Сгруживание влажной почвы с растительными остатками.

НЭ 4.3. Заклинивание камней между щнеком и отвалом.

5. Равномерное разбрасывание почвы.

Рабочие органы: метатели.

НЭ 5.1. Заклинивание крупных камней между лопатками метателей и делителем потока.

НЭ 5.2. Удары, возникающие при контакте лопаток с камнями.

НЭ 5.3. Вибрационные нагрузки машины.

НЭ 5.4. Распыление почвы при низкой ее влажности.

6. Обеспечение заданной глубины прохода отвалов.

Рабочий орган: каток.

НЭ 6.1. Уплотнение мульчированного слоя почвы на средней части прохода.

НЭ 6.2. Образование валков выдавливаемой по сторонам катка почвы.

7. Укрытие следа катка рыхлой посвой при соседнем проходе.

Рабочий орган: метатель (при соседнем проходе выравнивателя).

НЭ 7.1. Необходимость повышенной дальности разброса почвы.

НЭ 7.2. Часть почвы попадает на необработанную полосу и перерабатывается вторично.

НЭ 7.3. Повышенный расход энергии и распыление почвы.

НЭ 7.4. Сравнительно малая толщина рыхлого слоя на полосе прохода катка.

НЭ 7.5. Образование незаделанного следа катка на середине загона.

Функционально-идеальное моделирование технологического процесса

1. Свертывание технологического процесса.

Цель свертывания – ликвидировать все элементы – носители ненужных и вспомогательных (а по возможности и основных) функций. Вспомогательные функции свернутых операций ликвидируются, а основные - передаются другим носителям в усовершенствованной ТС. При это используется стандартная формулировка; «Операцию можно не выполнять, если возможно ее осуществление: А – за счет предыдущих операций; В – за счет последующих операций». Свертывание выполняется на основе структурно-элементной схемы технологического процесса с использованием матрицы функций (табл.1).

При решении задачи-минимум выбирается такой вариант устранения операции, который основан на результатах исследований ВП-3,6 или сравнительно прост в физическом смысле. Если непосредственно удаление операции затруднено, намечаются возможные направления ее устранения при решении задачи-максимум.

1.1. и 1.2. Срезание почвы на боковых и средней полосах прохода можно не выполнять в том случае, если:

(+)А – почва подрезана и уплотнена заранее;

(+)Б – срезание почвы выполняется при одной из последующих операций.

Для полос прохода боковых отвалов варианты А и Б неприменимы для решения мини-задачи, однако при дальнейших исследованиях может возникнуть возможность их реализации. Использование варианта А позволит снизить расход энергии при работе выравнителя, но при это необходимо изменить предшествующую почвообработку.

На полосе прохода средних отвалов срезание почвы можно выполнять после распределения валка. С учетом этого выбираем вариант Б.

2.1. Перемещение срезанной почвы к оси выравнителя можно не выполнять, если:

А – почва заранее сдвинута в валки, расположенные на расстоянии ширины захвата выравнителя.

Б – перемещение почвы к оси выравнителя выполняется на последующих операциях.

Вариант А требует выхода в надсистему, т.е. необходимо изменить технологию предшествующей почвообработки; вариант Б – радикального изменения конструкции машины и коренного изменения технологии работы машины. Анализ альтернатив показал, что такое перемещение может осуществляться фрезерными рабочими органами, для которых характерна высокая стоимость работы.

2.2. Перемещение срезанной почвы от оси выравнителя можно не выполнять, если:

А – поверхность поля не имеет неровностей в средней части (поле выровнено на предыдущих операциях);

Б – количество почвы, перемещаемой боковыми отвалами, достаточно для засыпки впадин в средней части прохода

Реализация варианта Б дает возможность выполнить функцию с использованием имеющихся элементов – боковых отвалов. При этом ликвидируется основная функция F 2.2 и нежелательные эффекты НЭ 2.1 и НЭ 2.2.

2. Поток почвы можно не разделять на два, если:

А – почва разделена при перемещении;

Б – распределение почвы осуществляется шеками при подаче к метателям или самими метателями.

Выбираем вариант Б, поскольку он позволяет ликвидировать делитель - узел с высокой суммарной оценкой ($\Sigma=42$). Метатели в данном случае необходимо приблизить к продольной оси машины, что способствует выполнению варианта 2.2 Б. При этом ликвидируются основная функция F3 и нежелательные эффекты НЭ 3.1, НЭ 3.2, НЭ 3.3, НЭ 5.1.

2. Почву к метателям можно не подавать, если:

А – она подается на предварительных операциях, например, делителем или отвалами;

Б – захватывается метателями непосредственно из валка.

Для полной (частичной) реализации варианта Б необходимо максимально устранить препятствия с пути прохода почвы в междуотвальном зазоре. Этому способствует решение

ЗБ (удаление делителя). Однако следует проанализировать возможность обеспечит захват метателем почвы из валка, особенно если она засорена растительностью.

3. Равномерное распределение почвы по уплотненному ложу можно не осуществлять, если:

А – она распределяется при разделении, подаче или срезании;

Б – распределение из валка происходит с выдержкой во времени при последующих проходах.

В данном случае предпочтителен вариант А, но он требует дополнительных исследований. Вариант Б предусматривает изменение технологии обработки почвы.

6. Глубиной хода отвалов можно не управлять, если:

А – ее можно изменять при помощи отвалов или активных рабочих органов;

Б – глубина хода устанавливается автоматически в зависимости от почвенных условий.

Выполнение варианта Б затруднено вследствие разности почвенных условий и необходимости различной глубины прохода на различных операциях. Предпочтителен вариант А.

7. Укрытие следа катка рыхлым мульчированным слоем при соседнем проходе можно не производить, если след катка:

А – не образуется;

Б – укрывается непосредственно при распределении почвы по уплотненному ложу.

При решении задачи по варианту б.Б принимаем вариант А, в противном случае – вариант Б.

Перечень основных функций технологического процесса после свертывания

F 1.1. Срезание почвы на боковых полосах.

F 1.2. срезание почвы на средней полосе.

F 2. Перемещение почвы к оси машины.

F 3. Подача почвы к метателям.

F 4. Равномерное рапределение почвы по уплотненному ложу.

F 5. Управление глубиной хода.

При свертывании ликвидированы функции F 2.2; F 3; F 7 и нежелательные эффекты НЭ 2.1; НЭ 2.2; НЭ 3.1; НЭ 3.2; НЭ 3.3; НЭ 5.1; НЭ 6.1; НЭ 6.2; НЭ 7.1; НЭ 7.2; НЭ 7.3; НЭ 7.4; НЭ 7.5.

Оставшиеся нежелательные эффекты: НЭ 1.1; НЭ 3.4; НЭ 4.1; НЭ 4.2; НЭ 4.3; НЭ 5.2; НЭ 5.3; НЭ 5.4. Построим функционально-идеальную модель процесса (Рис. 6).



Рис.6. Функционально-идеальная модель процесса выравнивания

Место расположения функций F1.2 и F5 на схеме требует уточнения (условно показано пунктирными линиями). Требования к элементам функционально-идеальной модели технологического процесса, с учетом несвернутых нежелательных эффектов, следующие:

1. Срезание почвы и ее перемещение следует производить:

T 1.1. Без ударных нагрузок.

2. Подача почвы к метателям должна осуществляться:

T 2.1. Без наматывания на шнеки растительных остатков.

T 2.2. Без заклинивания камней между шнеком и отвалом.

T2.3. Из одного вала.

3. Равномерное разбрасывание почвы необходимо производить:

T 3.1. Без ударов лопастей о камни, поступающие со стороны шнека.

T 3.2. Без вибрационных нагрузок конструкции.

T 3.3. Без распыления сухой почвы.

2. Анализ требований, задачи и предложения по усовершенствованию технологического процесса и конструкции выравнивателя-планировщика.

Анализ выполняется на основе:

1. Матрицы функций (табл. 1).

2. Диагностической таблицы (табл. 2).

3. Функционально-идеальной модели процесса.

Удаление в процессе свертывания делителя потока и среднего отвала позволяет разместить метатели параллельно друг другу. В случае равенства межосевых расстояний выходных валов редуктора и валов рабочих органов метатели можно расположить в

непосредственной близости от редуктора (предложение 1). Реализация данного предложения позволяет снизить массу привода за счет удаления карданных валов и существенно сократить расстояние между навеской трактора и центром масс выравнителя. Это, в свою очередь, дает возможность перейти к навесному варианту конструкции (предложение 2).

Реализация 1-го и 2-го предложений обеспечивает устранение средних отвалов ($\Sigma=25$), делителя ($\Sigma=42$) и карданных передач ($\Sigma=38$). Роль делителя выполняет сама почва, расположенная в зазоре ABC между выровненной почвой и поверхностями вращения метателей (Рис. 7). При этом на середине прохода остается валок почвы.

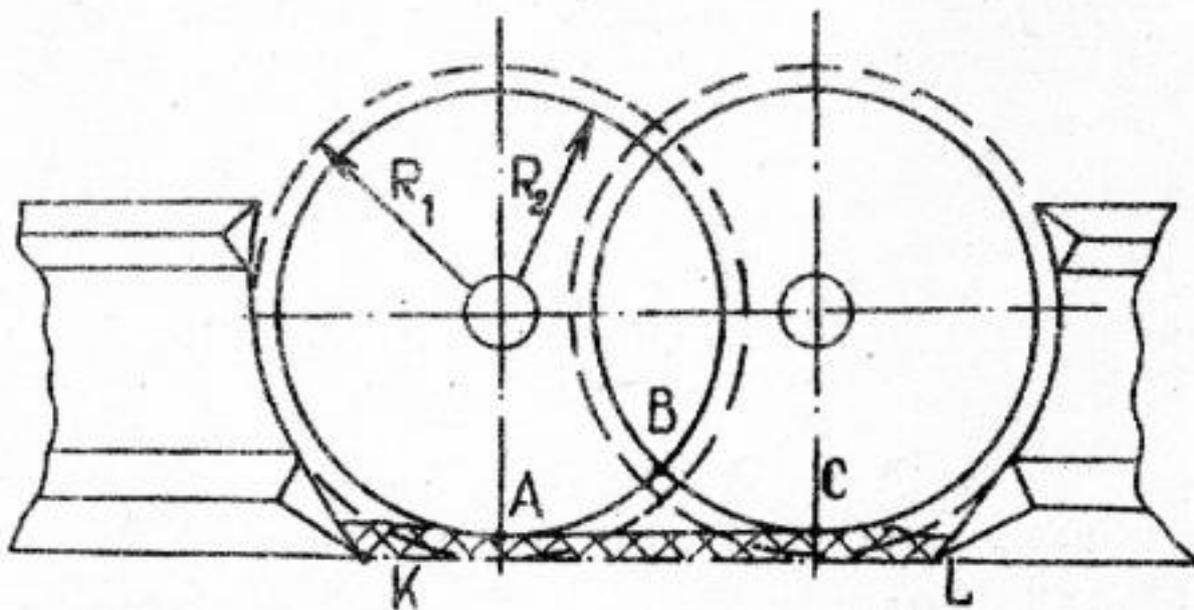


Рис.7. Образование валка между метателями

В процессе свертывания выбран вариант, при котором срезание почвы на средней полосе выполняется на одной из последующих операций, а ее перемещение от оси машины не требуется. Предложение 3 – выполнять подрезание почвы на средней полосе поперечным лемехом.

Реализация этого предложения наталкивается на ряд противоречий:

Горизонтально расположенный лемех хорошо подрезает почву, но имеет ряд недостатков:

- быстро обволакивается растительными остатками;
- испытывает большое сопротивление резанию;
- подрезанная почва недостаточно измельчается;
- образуется валок почвы между метателями.

Задача 1. Как обеспечить подрезание почвы на средней полосе прохода, ее измельчение и разравнивание.

Предложение. Для устранения обволакивания растительность нож достаточно установить под тупым углом к поверхности поля.

Недостаток. Установленный таким образом нож сгруживает перед собой почву. Получается незакрытое плотное ложе с валками почвы по сторонам.

Предложение. Установить нож непосредственно за задней лопаткой метателя. Тогда срезанная почва будет подаваться сзади на лопатку метателя и разбрасываться. Проведенные эксперименты позволили выбрать угол установки лопатки, который обеспечивает равномерное укрытие рыхлой почвой средней полосы. Кроме этого обнаружилось, что лопатки метателя не успевают выбросить всю срезанную почву, и она сходит с боковых сторон ножа и через его верхний обрез.

Задача 2. Нож подрезает полосу почвы KL и подает ее вместе с почвой из валка ABC сзади на лопатки метателей. Почва сходит у краев ножа, образуя на поверхности поля валки.

Противоречие. Для выброса максимального количества почвы лопатка должна быть длинной L1. Во избежание контакта с плотной почвой лопатка должна быть короткой L2.

Необходимо обеспечить разброс всей почвы без увеличения затрат энергии на разрушение лопатками ее плотного слоя.

Для решения этой задачи удачным оказался метод ММЧ – моделирования маленькими человечками (Рис.8). Сцепление человечков надо нарушить. Плотная структура почвы лучше всего разрушается в прилегающем к ножу пространстве за счет возникающих опережающих трещин. Зная характер разрушения почвы можно выбрать такой угол наклона ножа, чтобы разрушить зону, достаточную для работы лопатки.

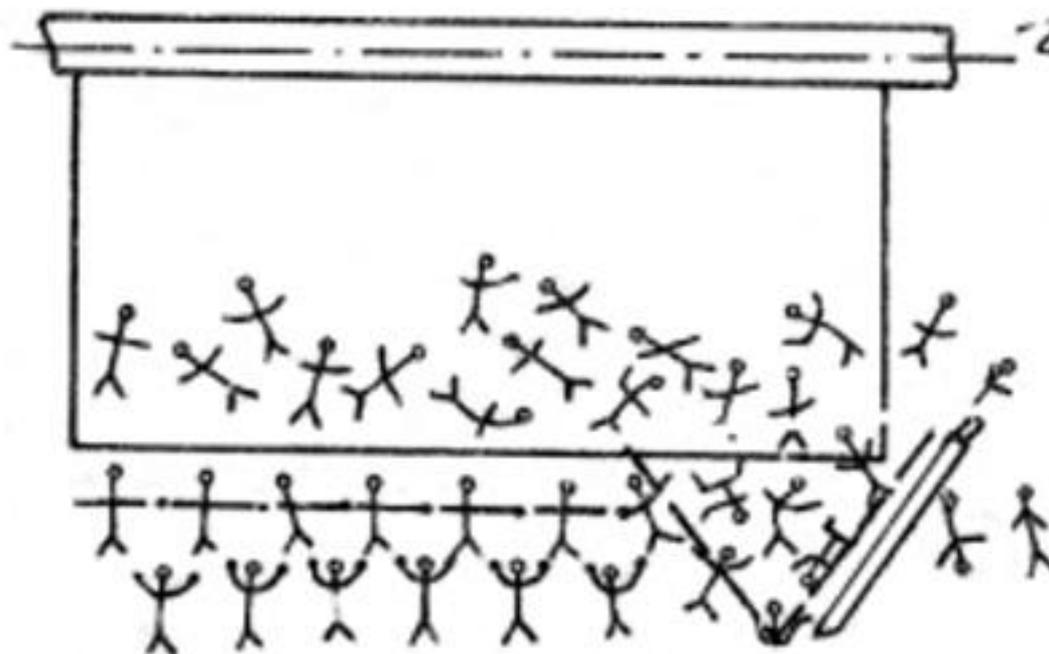


Рис. 8. Моделирование маленькими человечками

При этом пассивные «маленькие человечки» выбрасываются лопаткой, а активные, спасаясь от нее, перепрыгивают через подрезающий нож и убегают по плотному ложу.

Технический ответ. Установить нож непосредственно за метателями с минимальным зазором между торцами метателей и и ножом (Рис. 9). Лопатку выполнить такой длины, чтобы ее нижний обрез был расположен на 10-15 мм выше лезвия ножа. Нижнюю часть

лопатки выполнить треугольной формы, причем ее задний обрез должен быть параллелен рабочей поверхности ножа, а передний – перпендикулярен к этой поверхности.

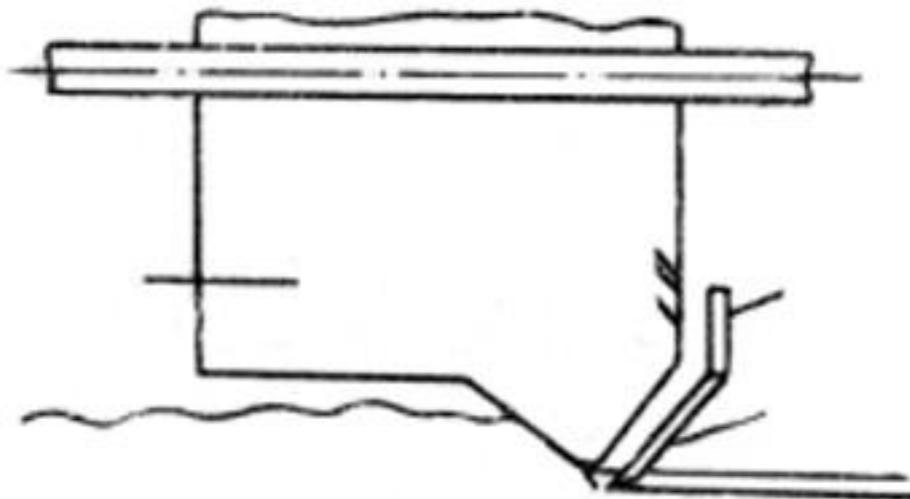


Рис.9. Лопатка с выступом

Комплекс рассмотренных предложений позволяет выполнить машину в навесном варианте, существенно упростить ее конструкцию и устранить значительную часть нежелательных эффектов. Условная суммарная оценка (Σ) уменьшается на 20...25% (табл 2). Однако, как показывает опыт эксплуатации ВП-3,6, для надежной работы машины необходимо выполнить ключевые требования (Т 2.2 и Т 3.1) к функционально-идеальной модели.

Задача 3. Устранить заклинивание камней между шнеком и отвалом.

Техническое противоречие. Отвал должен быть расположен близко к шнеку, чтобы исключить образование валков почвы, в тоже время отвал должен быть расположен далеко от шнека, чтобы исключить заклинивание камней.

Это противоречие хорошо разрешается во времени. При нормальной работе отвал располагается рядом со шнеком. При попадании камня отвал отходит и пропускает его, а затем возвращается в рабочее положение. Применяв прием «Динамизация» выполним крепление отвала гибким.

Технический ответ. Прикрепить отвалы к раме посредством гибких пружинных стоек от чизельного культиватора. (Рис. 10).

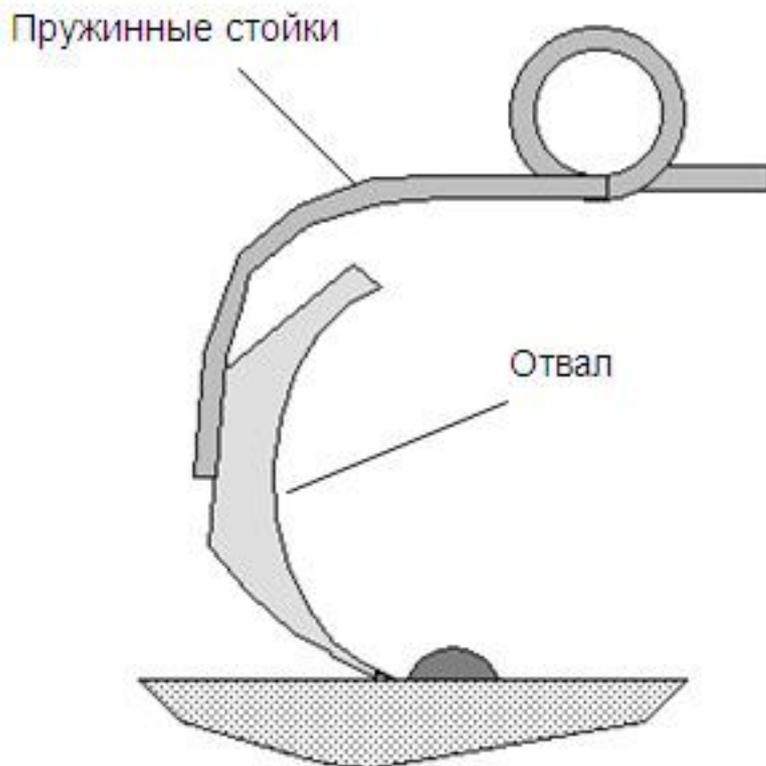


Рис.10. Крепление отвалов на гибких стойках

Такое решение оказалось очень эффективным и количество поломок на каменистых почвах резко снизилось.

Задача 4. Изыскать конструкцию метателя, обеспечивающую минимальную энергию соударения с камнями при гарантированном разбросе всей почвы.

Техническое противоречие. Для обеспечения разброса всей почвы должна быть большой и тяжелой, а чтобы не ломаться при ударе о камень – маленькой и легкой (или ее не должно быть вообще).

Задача решается прямым применением последовательно:

1. Закона повышения динамизации ТС.
2. Стандарта «Эффективность ТС может быть повышена путем увеличения дисперсности вещества, играющего роль инструмента».
3. Закона повышения степени согласования.

Технический ответ. Лопатки крепятся к валу не жестко, а с помощью шарниров (Рис 11). Каждая из них разделена в продольном направлении на отдельные шарнирные элементы. Масса элементов последовательно увеличивается в направлении от переднего. Последние элементы могут быть жестко прикреплены к валу.



Рис.11. Шарнирное крепление лопаток к валу

Противоречие разрешено - в целом лопатка большая и тяжелая, а с камнем встречается легкий элемент, который может отклоняться на шарнире.

Эксперименты показали, что энергия удара при встрече с камнем резко снизилась; надежность машины возросла. Однако выяснилось, что при работе лопатка постоянно колеблется около состояния равновесия. Работающий в абразивной среде шарнир быстро истирается.

Задача 5. Обеспечить работу шарнирной лопатки без абразивного износа шарнира.

Техническое противоречие. Шарнир должен быть, чтобы лопатка отклонялась, шарнира не должно быть, чтобы он не изнашивался.

Задача решается прямым применением:

1. Закона повышения динамизации ТС.
2. Закона повышения степени согласования.

По первому закону шарнирные конструкции должны заменяться гибкими, т.е. шарнир выполняется на микроуровне. По второму закону лопатка должна отклоняться при сильном ударе, оставаясь неподвижной при рабочих нагрузках.

Технический ответ:

1. Лопатки крепятся к валу при помощи изогнутых упругих стержней, которые отклоняются в пределах упругой деформации (Рис 12).

2. Лопатка отклоняется на некоторый угол от положения равновесия и фиксируется упором. Центробежная сила стремится вернуть лопатку в положение равновесия и прижимает ее к упору. Лопатка работает как жесткая и отклоняется только при сильных ударах.



Рис.12. Варианты крепления лопаток к валу

Сравнительные испытания обеих конструкций показали, что гибкое крепление лопатки проще по конструкции и эффективнее в работе.

Задача 6. Предотвратить смятие рыхлого слоя почвы опорным катком.

Техническое противоречие. Каток должен быть, чтобы обеспечить опору машины при работе, катка не должно быть, чтобы не сминать рыхлый слой почвы.

Это противоречие хорошо разрешается в пространстве. Можно обеспечить опору там, где она не причинит вреда рыхлому слою.

Технический ответ. Выполнить каток не сплошным, а из отдельных планок (Рис. 13). Планки катка, внедряясь в почву, обеспечивают опору машины, а при выходе из почвы заделывают собственный след рыхлой почвой.

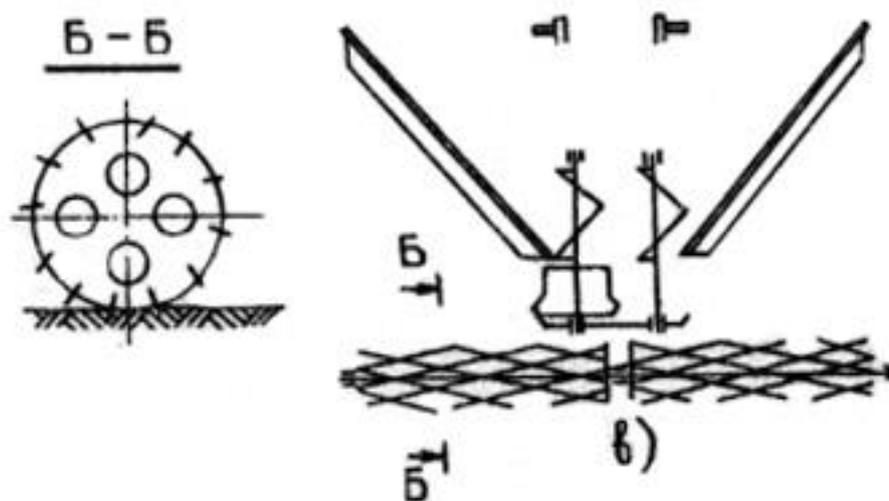


Рис.13. Планчатый каток

Решение задач, возникающих при переходе от функционально-идеальной модели к реальной конструкции и устранении НЭ с помощью инструментария ТРИЗ защищено несколькими а.с. СССР (N 1449036, 1158347, 1463157). На основе полученных решений разработана отвально- роторная машина для предпосевной обработки почвы МКП-3,6 (Рис.

14). На раме 1 машины установлены отвалы 2 на пружинных стойках. В междуотвальном пространстве расположены роторные рабочие органы, каждый из которых представляет собой шнек 5, установленный на одном валу с упругими и жесткими лопатками. Непосредственно за лопатками установлен подрезающий нож 6. В задней части машины расположен опорный планчатый каток 7, прикрепленный к раме при помощи механизмов регулировки его высоты.

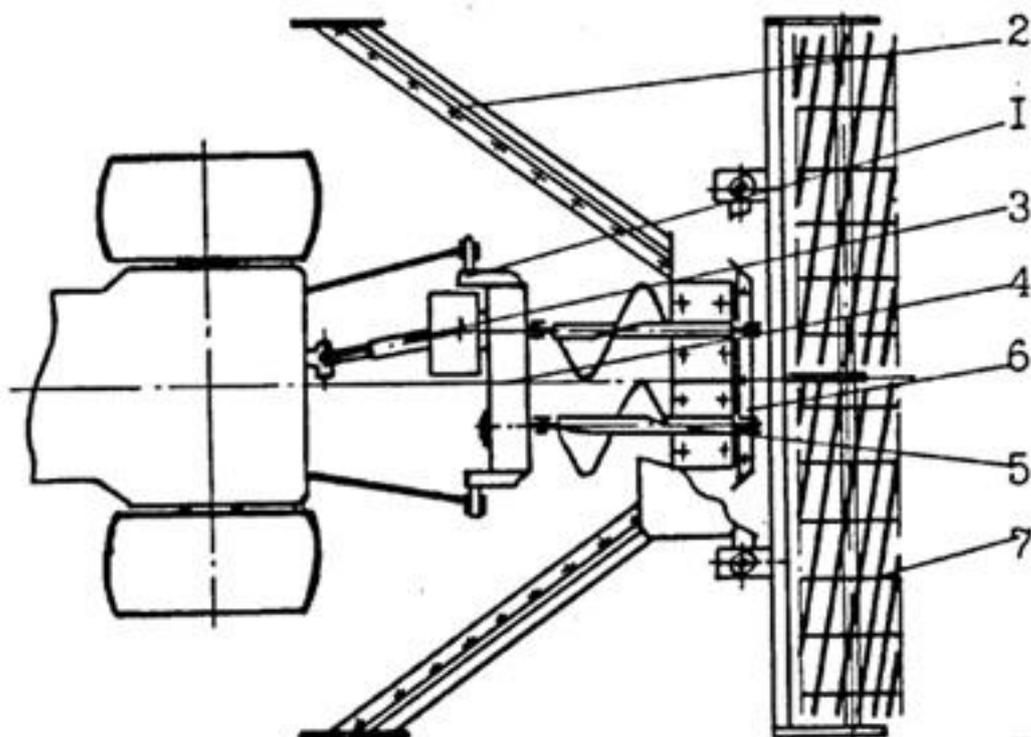


Рис.14. Отвально-роторная машина МКП-3,6

При работе машины отвалы подрезают верхний слой почвы и перемещают его к середине машины. Шнеки захватывают почву и подают ее на лопатки метателей. Почва измельчается и разбрасывается по уплотненному ложу. Планчатый каток служит опорой машины; планки, внедряясь в почву, не сминают ее рыхлый верхний слой, а при выходе из почвы заделывают собственный след рыхлой почвой.

Благодаря удалению 6 узлов масса машины уменьшилась на 900 кг или на 37,5%, что позволило ее сделать навесной; гибкое крепление отвалов и лопаток метателей позволяет предотвратить поломки, вызванные камнями. Надежность машины повысилась. Она агрегируется с трактором того же класса, что и ВП-3,6, имеет ту же ширину захвата и производительность.

С помощью опытного образца машины МКП-3,6 обработано 536 га тяжелых каменистых почв в Бешенковичском районе Витебской области. По сравнению с традиционной обработкой почв затраты на обработку одного гектара снижены в 1,2...2,5 раза; количество сорняков без применения дополнительных гербицидов уменьшилось в 1,8...3 раза. Прибавка урожая зерновых составила 5,0...6,0 ц/га, свеклы - 55...110 ц/га, зеленой массы кукурузы - 150 ц/га, льна (тресты) - 2.6...3.2 ц/га, семян рапса - 5,0 ц/га. За сезон машина окупилась 10 раз.

Кроме того при анализе выявились перспективные направления развития технологии возделывания мелкосемянных культур. Так, если рассмотреть отвально-роторную машину через ее основную функцию, то надсистемой будет комплекс работ по обработке почвы и посеву, включающий следующие операции:

- F1. Основная обработка почвы.
- F2. Создание уплотненного семенного ложа.
- F3. Укрытие ложа рыхлой почвой.
- F4. Посев.

Поскольку F2 и F3 – образование уплотненного ложа и укрытие его рыхлой почвой – разделены, существует возможность выполнять F4 – высев семян – в промежутке между ними. В этом случае можно резко повысить качество заделки семян и снизить энергоемкость посевных работ. Это предложение защищено а.с. СССР N 1463157. Устройство для осуществления данного способа посева (Рис. 15) включает два косопоставленных отвала 1, установленные углом вперед. По сторонам отвалов установлены роторные метатели 2. Над отвалами установлена сеялка 3. При работе агрегата отвалы срезают слой почвы, образуя выровненное семенное ложе. Сеялка высевает семена на ложе, а прикатывающий каток вдавливает их в почву. Затем метатели забрасывают плотное ложе с семенами рыхлым слоем почвы. Достигается идеальная заделка семян.

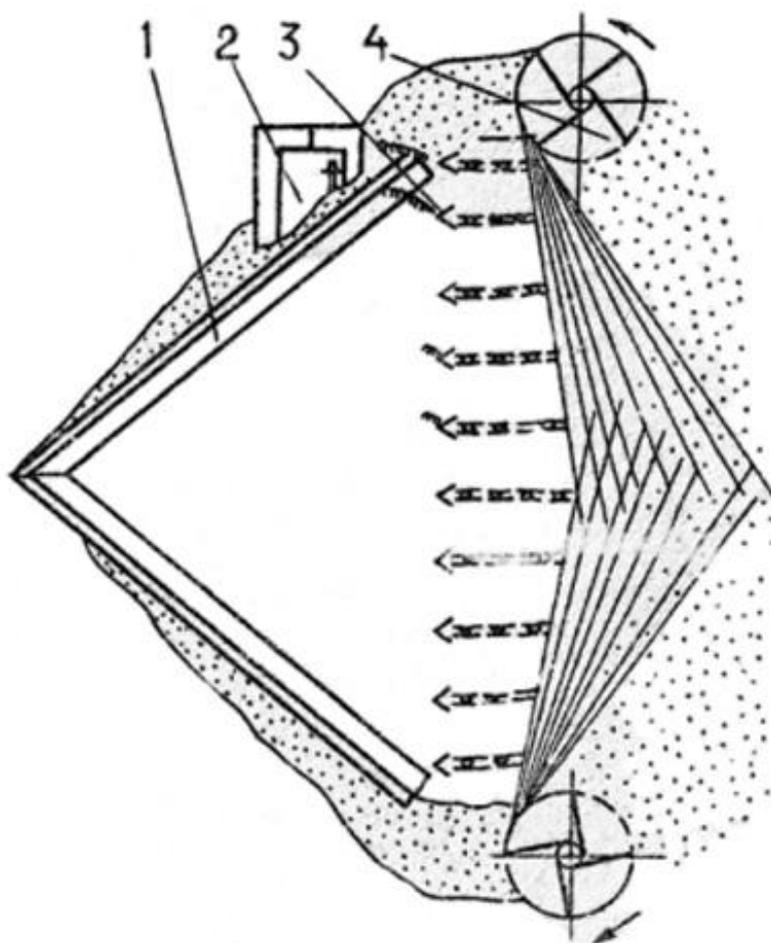


Рис.15. Сеялка с укладкой семян на плотное ложе

Кроме того, проведенное исследование позволило наметить дальнейшие перспективы дальнейшего развития технологий обработки почвы и посева.

Выводы.

1. Применение ФСА и ТРИЗ позволило со сравнительно небольшими затратами труда разработать конструкцию машины значительно превосходящую по своим параметрам исходный вариант.
2. Инструментарий ТРИЗ и ФСА очень эффективен в сочетании с исследовательскими методами решения задач. В этом случае можно оперативно проводить не только поиск новых решений, но и отбор наиболее перспективных.
3. При проведении ФСА, как правило, четко намечается направление дальнейших исследований.

Литература

1. Мацепуро О.М. Механизация предпосевного выравнивания почвы. Минск, Ураджай, 1987.
2. Шпаковский Н.А., Хоменко Н.Н. Использование функционально-стоимостного анализа при совершенствовании выравнивателя-планировщика ВП-3.6. В кн. «Методическое пособие для слушателей школ молодых рационализаторов и изобретателей теории решений изобретательских задач и функционально- стоимостного анализа». Минск, 1988, с. 159...186.
3. Герасимов В.М., Литвин С.С. Учет закономерностей развития техники при проведении ФСА технологических процессов/ В кн. «Практика проведения функционально-стоимостного анализа в электротехнической промышленности», под ред. М.Г.Карпунина. М., Энергоатомиздат, 1987, с. 193...209.
4. Альтшуллер Г. С. Найти идею. Введение в теорию изобретательских задач.- Новосибирск. Наука, 1986.