

**РАЗРАБОТКА И ПРОИЗВОДСТВО  
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН НА ОАО «МЗШ»**

И.А. МАКАРЕНКО<sup>1</sup>, А.П. ЛЕВШУКОВ<sup>2</sup>, К.Ю. АСТРЕЙКО<sup>3</sup>,  
А.С. МИЛЬКЕВИЧ<sup>4</sup>

<sup>1</sup> руководитель технологической группы ОАО «МЗШ»

<sup>2</sup> заместитель директора-главный инженер ОАО «МЗШ»

<sup>3</sup> начальник управления сельскохозяйственных машин ОАО «МЗШ»

<sup>4</sup> начальник конструкторско-технологического бюро ОАО «МЗШ»  
г. Минск, Республика Беларусь

*Аннотация. В данной статье приводятся сведения о последних достижениях в производстве сельскохозяйственной техники, которая разрабатывается и изготавливается на предприятии ОАО «Минский завод шестерен». Показан алгоритм действий при проектировании восьмикорпусного оборотного полунавесного плуга с применением программ инженерного анализа.*

*Ключевые слова: аддитивные технологии, реверс инжиниринг, сквозное проектирование, средства автоматизированного проектирования, топологическая оптимизация.*

**DEVELOPMENT AND PRODUCTION OF AGRICULTURAL  
MACHINERY AT OJSC «MGW»**

I.A. MAKARENKO<sup>1</sup>, A.P. LEVSHUKOV<sup>2</sup>, K.Y. ASTREYKO<sup>3</sup>,  
A.S. MILKEVICH<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Head of the technological group of JSC «MGW»

<sup>2</sup> Deputy Director-Chief Engineer of JSC «MGW»

<sup>3</sup> Head of the Agricultural Machinery Department of JSC «MGW»

<sup>4</sup> Head of the Design and Technology Bureau of JSC «MGW»  
Minsk, Republic of Belarus

*Annotation. This article provides information on the latest achievements in the production of agricultural machinery, which is developed and manufactured at the enterprise OJSC «Minsk Gear Works». The algorithm of actions in the design of an eight-body reversible semi-mounted plow using engineering analysis programs is shown.*

*Keywords: additive technologies, reverse engineering, end-to-end design, automated design tools, topological optimization.*

## **Введение**

С 2020 года ОАО «Минский завод шестерен» активизировал свою деятельность в рамках развития модельного ряда плугов с упором на требования современных агротехнологий и на основе системных инновационных подходов как в проектно-исследовательской деятельности, так и в рамках производственных отношений, кооперации и т.д.

Процессы проектирования как плугов и их элементов, так и технологической оснастки осуществляется квалифицированными специалистами с высокой степенью взаимозаменяемости на базе 3D проектирования с применением программ инженерного анализа.

Благодаря огромному инженерно-техническому потенциалу, на предприятии освоен выпуск лемешных плугов. Модельный ряд плугов включает загонные, оборотные навесные и полунавесные плуги для гладкой пахоты, а также плуги с рессорной защитой для каменистых почв. Вся номенклатура плугов производства ОАО «Минский завод шестерен» положительно зарекомендовала себя на полях Республики Беларусь, стран СНГ и дальнего зарубежья.

## **Последовательность проектирования**

Для процесса проектирования инженерный состав предприятия использует один из программных продуктов планирования, который позволяет установить и визуально контролировать сроки выполнения, последовательность этапов, распределение различного рода затрат (материальных и трудовых) а также назначить ответственных за каждый из этапов в данном проекте (рисунок 1).

На примере разработки плуга ППО-8РК сформирован план проектирования и производства.

На сегодняшний день перед специалистами предприятия стоит большой перечень задач связанных с выпуском новых моделей плугов, а также модернизацией выпускаемой серийной продукции. Отходя от классического проектирования «на бумаге», удалось повысить производительность за счёт внедрения метода сквозного проектирования. Инструменты представляют собой пакет программного обеспечения, применяемого для автоматизированного проектирования. Система автоматизированного проектирования (САПР)

представляет собой комплекс программных, технических и информационных ресурсов, а также проектной документации и специалистов, которые способствуют автоматизации процессов проектирования. В такие системы входят инструменты для инженерной графики (CAD), инженерных расчетов (CAE) и автоматизации подготовки и управления производственными процессами (CAM) (рисунок 1).

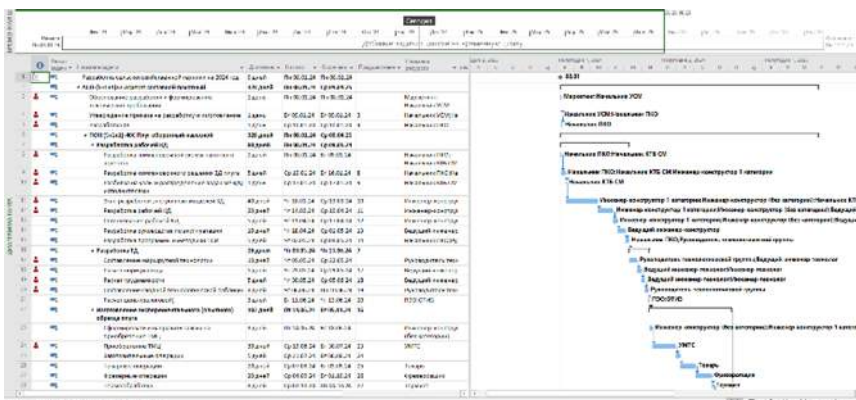


Рисунок 1 – Пример плана проекта

В связи с тем, что в нашем случае проектирование происходило на основании выбранного прототипа, то для разработки новой модели выбрали метод сквозного проектирования (сверху-вниз) с применением САПР. Методика подразумевает поэтапное создание компонентов, начиная с верхнего уровня и заканчивая нижними, в рамках моделей, к которым эти компоненты принадлежат. После создания компонентов их разработка осуществляется в отдельных окнах. Проектирование деталей основывается на копиях объектов компоновочной геометрии, а в подборках – на вставках этой геометрии

В данной статье продемонстрируем такой переход на примере восьмикорпусного плуга. Проектирование осуществлялось с использованием передового опыта зарубежных производителей плугов: KVERNELAND (Норвегия), Lemken (Германия) и RÖTTINGER (Австрия). Данные производители являются мировыми лидерами в сфере производства сельскохозяйственной техники.

Проектирование плуга происходило в соответствии со следующими этапами:

- На первом этапе был произведён расчёт геометрических параметров с задействованием всех конструктивных элементов и определена кинематическая схема движения;
- На втором этапе спроектирована компоновочная геометрия конструкции;
- На третьем этапе была распределена работа по проектированию отдельных узлов на основе компоновочной геометрии между инженерами конструкторами предприятия;
- Пятым этапом происходит само проектирование, а также компоновка каждого узла;
- Шестой этап представлял собой компоновку общей конструкции плуга с добавлением гидравлического и электрического оборудования (рисунок 2);



Рисунок 2 – Общий вид плуга

- На седьмом этапе проектирования произведен прочностной CAE расчёт и топологическая оптимизация, благодаря чему удалось исключить ряд испытаний (см. рисунок 3).

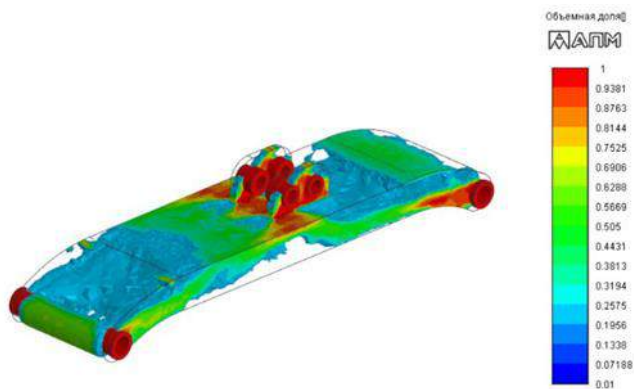


Рисунок 3 – Топологическая оптимизация детали «Звено»

В процессе проектирования дополнительно рассматривается одна из проблем высокой энергоёмкости детали, а также высокий коэффициент трения почвы и растительных остатков об рабочую поверхность отвала. Для устранения данных недостатков, а также для дальнейшей унификации, упрощения технологии изготовления и улучшения общих характеристик оборудования при сохранении параметров, заложенных конструктивно были спроектированы и изготовлены отвалы из высокомолекулярного полимерного материала.

Изготовление полимерных отвалов вместо стальных обеспечило сокращение трудоёмкости, энергозатрат и числа технологических операций (с 9 до 4). Как следствие, себестоимость изготовления одного отвала снизилась на 7%-12%. Полевые испытания пластиковых отвалов в составе плуга показали, что они обладают требуемым уровнем работоспособности; по сравнению с аналогичными по конструкции стальными отвалами имеют более высокую (в 6,5 раз) износостойкость, обеспечивают улучшение качества вспашки с одновременным увеличением производительности на 36%, вызывают снижение расхода топлива на 8-10% за счет уменьшения адгезии поверхности отвалов с почвой и уменьшения их массы в 6,5 раз.

Экономическая эффективность за счёт повышения износостойкости, снижения расхода топлива и повышения общей производительности возросла не менее чем в 10 раз.

Как сказано в этапах проектирования (7 этап) для ряда деталей провели топологические исследования (рисунок 3) и для этих деталей осуществили прочностной расчёт. Так, например, для одного из силовых элементов плуга проведена, топологическая оптимизация, а также произведён прочностной расчёт для уменьшения металлоёмкости с сохранением заданных характеристик. (рисунок 4).

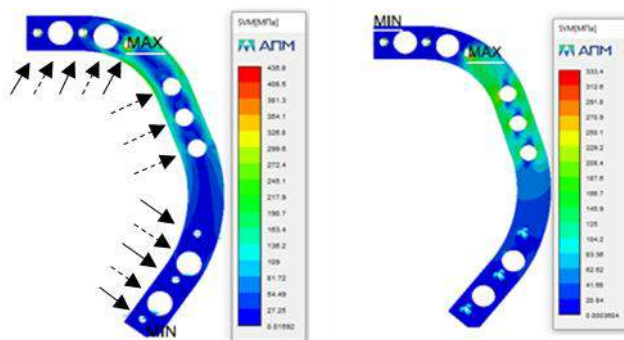


Рисунок 4 – Прочностной расчёт детали «Грядиль»

Таким образом разработана модифицированная конструкция грядиля плуга с учетом возможностей его изготовления с использованием аддитивной технологии листового ламинирования – SL-технологии. Грядиль с модифицированной конструкцией характеризуется многослойной структурой, состоящей из листовых выкроек, подвергнутых топологической оптимизации, благодаря чему масса грядиля уменьшается на 17% по сравнению с исходной.

Полевые испытания грядиля, изготовленного с помощью SL-технологии, показали, что он обладает требуемой работоспособностью, по рабочим характеристикам соответствует аналогичным грядилям, установленным на плуге при проведении испытаний и изготовленным по традиционной технологии, и может использоваться согласно своему функциональному назначению.

### Реверс инжиниринг

В рамках импортозамещения проектно-конструкторским отделом производства сельскохозяйственных машин освоена методика реверс инжиниринга. Реверс инжиниринг подразумевает собой процесс сканирования деталей имеющих сложную геометрию поверхностей. Этот процесс не заменим при освоении и отсутствии конструкторской документации на существующие изделия, для выполнения таких задач мы используем промышленный 3D-сканер (рисунок 5).

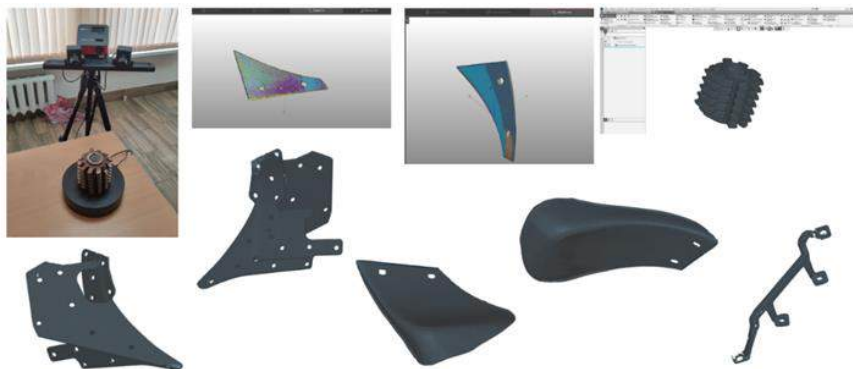


Рисунок 5 – Объекты сканирования

Условно процесс реверс инжиниринга можно разделить на несколько этапов:

- Сканирование образца со сложной геометрией;
- Импортрование данных. Это могут быть фасетные тела из STL-файлов или файлов с облаками точек;
- Совмещение и склейка фасетных тел. Данная процедура производится в том случае, если сканирование выполнялось с разных сторон по отдельности;
- Анализ и исправление ошибок фасетной геометрии. Выполнение этих операций зависит от качества данных и для большинства задач по реверс инжинирингу могут не проводиться;
- Размещение и центрирование фасетного тела относительно абсолютной системы координат;

- Получение сечений и/или цветовое выделение граней в зависимости от особенностей конструкции фасетного тела;
- Создание модели по фасетному телу (используя полученные сечения или «обтягивая» поверхностями фасетные грани с последующей сшивкой);
- Анализ точности полученной модели. Проводится с целью выявления и устранения не допустимых погрешностей в полученной модели по сравнению с фасетным телом.

### **Результаты внедрения автоматизированной системы проектирования**

Благодаря применению вышеперечисленных инструментов удалось повысить производительность, а также снизить затраты на изготовление новых моделей почвообрабатывающих машин.

С применением данной системы проектирования ОАО «МЗШ» реализованы следующие проекты:

-ППО-8РК (плуг полунавесной оборотный восьмикорпусный с изменяемой шириной захвата и автоматической рессорной и гидроневматической защитой от камней);

-ПОН-(5+1+1)-40С (плуг оборотный навесной с изменяемой шириной захвата и системой защиты от случайных препятствий «срезной болт»);

-ПП-3-45 (плуг передненавесной с системой защиты от случайных препятствий «срезной болт»).

Каждая разработка проходит обязательную процедуру сертификации на ГУ «Белорусской МИС» либо на РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства».

Каждая инновационная разработка несёт авторский характер и проходит обязательную процедуру патентования.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Нехорошев, М.В. Методика реверс инжиниринга изделий в системе Siemens NX / М.В. Нехорошев // Сборник докладов Международной научно-технической конференции «Проблемы и перспективы развития двигателестроения». – 2021. – Том 1. – С.275-276.

## REFERENCES

1. Nekhoroshev, M.V. Methodology for reverse engineering of products in the Siemens NX system / M.V. Nekhoroshev // Collection of reports of the International Scientific and Technical Conference “Problems and Prospects for the Development of Engine Building”. – 2021. – Volume 1. – P.275-276.