

УДК 004.942

В. Н. ДАШКОВ¹, Е. В. ЖЕРЕБЯТЬЕВ², Р. И. ФУРУНЖИЕВ³**СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ КАК СТАДИЯ ПРОЦЕССА ПРОЕКТИРОВАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ**¹Институт энергетики НАН Беларуси,²Научно-практический центр НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства,³Белорусский государственный аграрный технический университет

(Поступила в редакцию 13.09.2014)

Повышение качества и снижение затрат при проектировании сельскохозяйственной техники требует широкого применения информационных технологий. В данной статье рассматривается стадия структурно-параметрической оптимизации геометрии при разработке новых изделий.

При проектировании несущих, тяжело нагруженных ответственных деталей сельскохозяйственных машин или конструкций сложной конфигурации перед конструктором стоит задача выбора наилучшей конфигурации детали, оптимальной с позиции того или иного критерия качества. Необходимое решение не всегда очевидно, а иногда его просто невозможно найти без объемных длительных вычислений по классическим канонам механики материалов.

Современное производство невозможно без систем автоматизированного проектирования (САПР), представляющих системы, реализующие информационную технологию выполнения функций проектирования. Данные системы способны решать сложные проектно-конструкторские и расчетные задачи во многих направлениях инженерной деятельности, в том числе и задачи нахождения оптимальных решений при создании новых сельскохозяйственных машин.

В конструировании современных широкозахватных машин часто используются как элемент конструкции гибкие тросовые связи (для удержания штанг широкозахватных машин для применения средств защиты растений (опрыскивателей), машин для внесения минеральных удобрений, уборки овощей и т. д.).

В проектируемой гибкой связи с тросовым несущим устройством наиболее слабым элементом является нижнее звено – крюк. Его применение обусловлено необходимостью создания быстросъемного узла. Вместе с тем классический метод расчета конструктивных параметров крюка достаточно сложный и трудоемкий, не всегда позволяющий получать рациональные значения.

Для исключения ошибки при проектировании крюка обычно закладываются завышенные величины параметров детали либо вместо него используют более сложные и дорогие виды соединений. Существенно упростить методику расчета позволяют САПР.

Рассмотрим процесс вычисления оптимальных параметров грузоподъемного крюка на основе детального анализа его геометрии и режима работы при помощи САЕ-пакета ANSYS Workbench. Исходная геометрия крюка приведена на рис. 1. Известно, что его максимальная грузоподъемность должна составлять 600 кг, при этом, используя материал Ст3, необходимо обеспечить механическую прочность и минимально возможную массу детали. В качестве переменных для проведения оптимизационного расчета выделены четыре фактора:

внешний диаметр крюка (исходный 100 мм);

ширина крюка (исходная 20 мм);

толщина крюка (исходная 15 мм);

угол сопряжения вертикальной части с диаметром (исходный 130 град).

Первым шагом решения задачи оптимизации является расчет имеющегося варианта и составление примерного представления о масштабе решаемой задачи. Результаты вычисления на-

пряженно-деформированного состояния детали показали, что механическая прочность не обеспечивается (рис. 2, *a*), а запас прочности по критерию текучести материала составляет 0,58 (рис. 2, *б*).

Совершенно ясно, что исходная геометрия не отвечает предъявляемым к ней требованиям. Чтобы понять, как тот или иной фактор воздействует на конечный отклик детали в целом, необходимо определить функцию отклика системы, т. е. найти зависимость математического ожидания отклика от исследуемых факторов. После выбора плана эксперимента по данным этой функции можно построить поверхность отклика, которая является ее графиком.

Существенным преимуществом программного планирования эксперимента является возможность использования различных методов планирования (дробные факторные планы, максимально несмещанные факторные планы, планы Бокса–Бенкена, центральные композиционные планы, нефакторные планы, планы на латинских квадратах и др) при сопоставимых временных затратах. Поскольку в представленной модели все факторы являются независимыми и в рассматриваемом диапазоне значений они непрерывны, то поверхность отклика найдена на основе метода центральных композиционных планов.

На основании данных отклика системы на изменение каждого из входных факторов строится диаграмма чувствительности. Она представляет собой форму отклика выходного параметра на изменение возмущающего действия в нормализованных величинах, что дает возможность выявления значимости того или иного фактора. Таким образом, диаграмма чувствительности (рис. 3) позволяет принимать стратегические решения по варьированию исходных факторов.

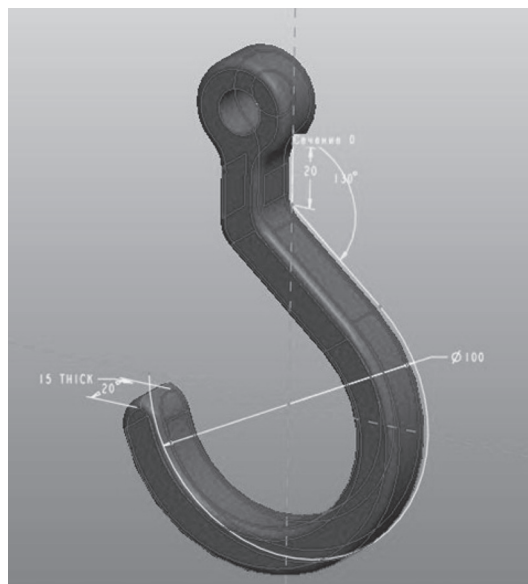


Рис. 1. Геометрия крюка

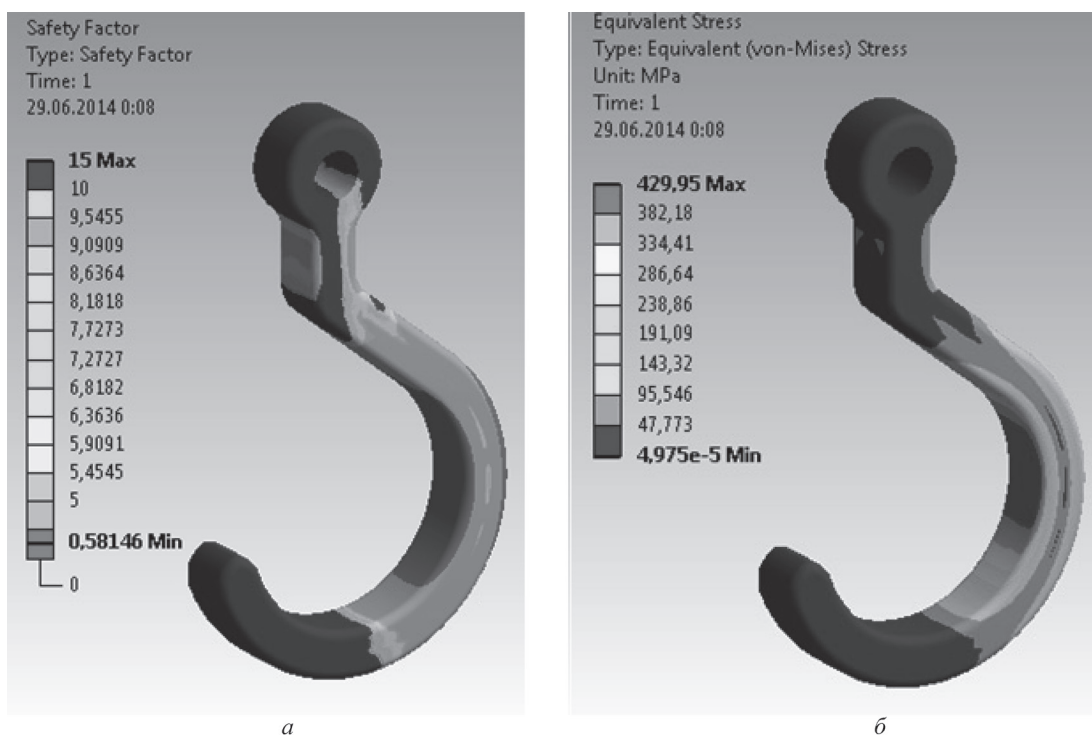


Рис. 2. Расчет исходной геометрии: *a* – напряженно-деформированное состояние детали; *б* – коэффициент запаса по текучести

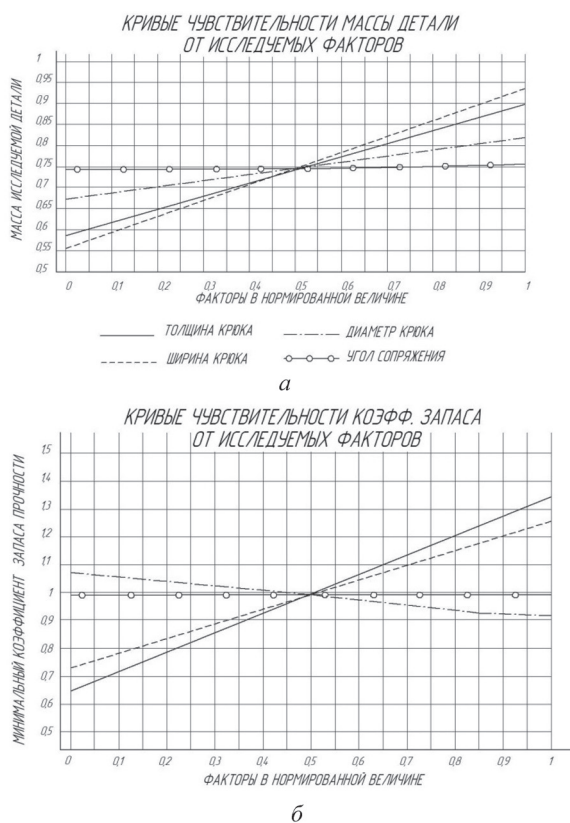


Рис. 3. Диаграмма чувствительности системы к переменным факторам: а, б – приведена зависимость массы от факторов в нормализованном выражении и от коэффициента запаса прочности соответственно

метров. Для каждого набора рассчитываются значения выходной функции. Те наборы, которые дают решения, наиболее соответствующие критериям поиска, «скрещиваются» – рекомбинируются, результат рекомбинации заменяет родительские выборки. Работа генетического алгоритма представляет итерационный процесс, продолжающийся до тех пор, пока не выполнится заданное число поколений или любой другой критерий остановки.

В проводимом эксперименте начальная популяция содержит 100 выборок входных параметров из заданных диапазонов значений переменных. Условие успешного решения – запас прочности по текучести не менее 1,2 при минимально возможной массе в генерируемой выборке. Решение будет прекращено в тот момент, когда 70% популяции будет удовлетворять предъявляемым требованиям. В рассматриваемом случае условие выполнилось после 146 «скрещиваний».

Подобный алгоритм действий позволяет в очень короткие сроки найти решение, близкое к оптимальному, хотя таковым не являющееся в абсолютном измерении. Из полученной популяции выбирается несколько точек-кандидатов, наиболее полно отвечающих поставленным условиям оптимизации (табл. 1).

Т а б л и ц а 1. Анализ вариантов выбора подходящих наборов входных данных

Параметр	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3
Толщина, мм	21,212	21,247	20,454
Угол сопряжения, град	112,45	119,15	110,2
Диаметр, мм	76,701	78,559	77,929
Ширина, мм	19,846	20,488	21,504
Масса, кг	0,67176	0,71163	0,71748
Запас прочности	1,1935	1,2009	1,2021

После исследования данной диаграммы можно отметить, что угол сопряжения диаметра с вертикалью увеличивает массу и почти не влияет на коэффициент запаса (угол сопряжения следует уменьшить); увеличение диаметра увеличивает массу и снижает коэффициент запаса (диаметр необходимо уменьшить); увеличение как толщины, так и ширины крюка ведет к росту массы и коэффициента запаса, поэтому сложно сделать однозначный вывод об изменении этих параметров.

Следующим этапом является непосредственно оптимизация параметров по заданным условиям. Учитывая выводы, сделанные на основании диаграммы чувствительности, технологические возможности и технические ограничения, каждому из исследуемых факторов назначаются следующие диапазоны: внешний диаметр крюка 80–100 мм; ширина крюка 15–25 мм; толщина крюка 15–25 мм; угол сопряжения вертикальной части с диаметром 100–130 град.

Поиск оптимальных точек происходит по двум критериям: минимально возможная масса детали; коэффициент запаса по текучести не менее 1,2.

Для проведения расчета предлагается использовать алгоритм мультиобъектной генетической оптимизации. Суть данного алгоритма заключается в том, что изначально создается «популяция» – совокупность наборов входных параметров.

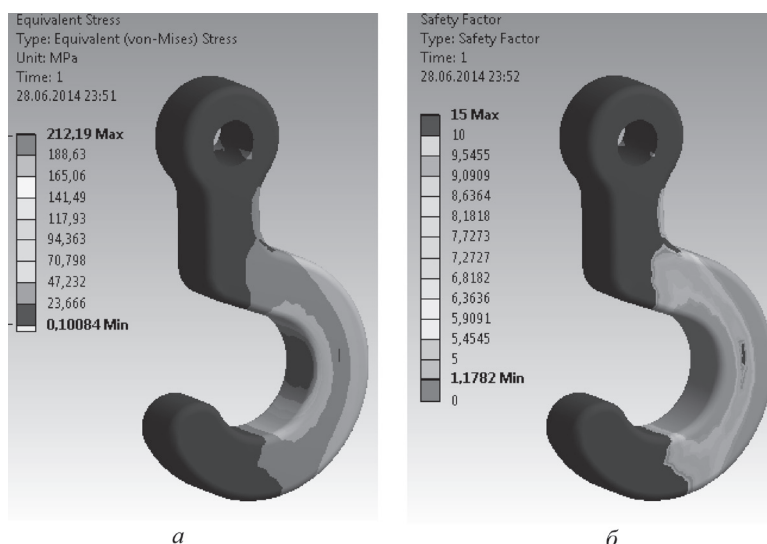


Рис. 4. Расчет оптимизированной геометрии: *a* – напряженно-деформированное состояние детали; *б* – коэффициент запаса по текучести

Очевидно, что наиболее приемлемой точкой является точка-вариант 1, так как она обеспечивает необходимый запас прочности при минимальной массе. Округляем значения входных параметров до технологически возможных и производим проверочный расчет (рис. 4, табл. 2), показывающий, что условия механической прочности выполняются.

Т а б л и ц а 2. Сравнительные характеристики изделия в результате оптимизации

Параметр	До оптимизации	После оптимизации
Толщина, мм	15	21
Угол сопряжения, град	130	112,5
Диаметр, мм	100	77
Ширина, мм	20	20
Масса, кг	0,65	0,67
Запас прочности	0,58	1,18

При этом можно утверждать, что прибавка массы на 20 г (3% от начальной массы) относительно исходной геометрии является минимально возможной для решения поставленной задачи и позволяет увеличить запас прочности рассматриваемой детали вдвое при сохранении того же конструкционного материала.

Выводы

1. Повышение конкурентоспособности сельскохозяйственного машиностроения требует улучшения качества и сокращения трудоемкости проектирования новых сельскохозяйственных машин, что невозможно при использовании традиционных методов расчета характеристик и конструктивных параметров высоконагруженных деталей.

2. Применение метода мультиобъектной генетической оптимизации позволяет существенно упростить работу конструкторов и повысить качество проектной деятельности.

Литература

1. Спири́н Н. А., Ла́вров В. В. Методы планирования и обработки результатов инженерного эксперимента: Конспект лекций (отдельные главы из учебника для вузов) / Под общ. ред. Н. А. Спирина. Екатеринбург, 2004.
2. ANSYS Academic Product Technical Support: электронный ресурс: <http://www.ansys.com/Support/Academic+Technical+Support>; Дата доступа: 18.02.2014
3. ANSYS Workbench 12.0 user's guide / ANSYS, Inc. Southpointe 275 Technology Drive Canonsburg, PA 15317 – © 2011 SAS IP, Inc.

V. N. DASHKOV, E. V. ZHEREBYATIEV, R. I. FURUNGIEV

STRUCTURAL-PARAMETRIC OPTIMIZATION AS A STEP OF DESIGN PROCESS OF AGRICULTURE MACHINERY

Summary

Improving quality and decrease costs of the design process of agricultural machinery demands broader application of information technologies. This article tells us about structural-parametric optimization as a step of design process of new parts.