

УДК 621.833.16

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСКИХ РАБОТ ПРИ РАЗРАБОТКЕ
ПРИВОДОВ МАШИН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ
СЕМАНТИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

AUTOMATION OF DESIGN WORKS AT DEVELOPMENT OF MACHINE DRIVES
WITH THE USE OF FUNCTIONAL SEMANTIC NETWORKS

Миронова М.Н.
Mironova M.N.

Белорусско-Российский университет (Могилев, Республика Беларусь)
Belarusian-Russian University (Mogilev, Republic of Belarus)

Аннотация. Рассмотрены вопросы расчета параметров приводов. Использован подход, базирующийся на технологиях функциональных семантических сетей. Описана интеллектуальная система Compact, осуществляющая многофакторную оптимизацию параметров радиально-плунжерного редуктора. Рассмотрена задача расчета и проектирования приводов на основе использования функциональной семантической сети.

Ключевые слова: искусственный интеллект, функциональные семантические сети, интеллектуальная система, многофакторная оптимизация.

Дата принятия к публикации: 06.09.2018
Дата публикации: 25.09.2018

Сведения об авторе:

Миронова Марина Николаевна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения» Государственного учреждения высшего профессионального образования «Белорусско-Российский университет»; MarinaMN16@mail.ru.

Abstract. The questions of calculation of parameters of drives are considered in this article. An approach based on the technologies of functional semantic networks was used. The intelligent system Compact is described, which performs multifactor optimization of the radial-plunger reducer parameters. The problem of calculating and designing drives based on the use of a functional semantic network is considered.

Keywords: artificial intelligence, functional semantic networks, intelligent system, multifactor optimization.

Date of acceptance for publication: 06.09.2018
Date of publication: 25.09.2018

Author' information:

Marina N. Mironova – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Department «Engineering Technology» at State Institution of Higher Professional Education «Belarusian-Russian University»; MarinaMN16@mail.ru.

Снижение материалоемкости приводных устройств машин, автоматизация расчетов и проектирования редуцирующих агрегатов позволяет снизить себестоимость и повысить конкурентоспособность продукции по сравнению с зарубежными аналогами.

Однако последовательное снижение массогабаритных показателей отдельных деталей с целью оптимизации массогабаритных показателей конструкции, как правило, малоэффективно, так как при этом не в полной мере учитываются функциональные взаимосвязи между параметрами конструкции и общие требования к ее эксплуатационным показателям. Это объясняется отчасти тем, что расчет и проектирование механизмов базируется на использовании значительного

количества математических выражений и ограничений сложного вида, связанных между собой функциональными зависимостями. Учет таких связей позволяет построить вычислительные алгоритмы, учитывающие общие требования к конструкции, и обеспечить минимальные массогабаритные показатели при сохранении требуемой функциональности.

Выявление взаимосвязей между параметрами приводов механизмов возможно на основе подхода, базирующегося на технологиях искусственного интеллекта (функциональных семантических сетей), позволяющих осуществлять выбор оптимальных значений параметров приводов, обеспечиваю-

щих минимальные их массогабаритные показатели [1].

В связи с этим для расчета и проектирования машин была разработана система искусственного интеллекта Compact [2], построенная на базе функциональных семантических сетей, обеспечивающая многофакторную оптимизацию конструкции. В отличие от существующих, такая система позволяет обеспечить комплексную автоматизацию проектирования за счет учета функциональных взаимосвязей между параметрами деталей и узлов конструкции.

Особенностью системы является отсутствие традиционного программирования процедуры поиска решения задачи, так как данное программное обеспечение формирует алгоритм решения задачи самостоятельно, используя набор зависимостей (формул), предварительно введенных в символьном виде. Последовательность расчета, преобразований, подстановок формул при этом выбирается самой системой, что позволяет ее использовать проектировщиками невысокой квалификации, а также в качестве консультанта конструктора на промышленных предприятиях.

Общая структура системы и схема ее взаимодействия с конечным пользователем показаны на рис. 1.

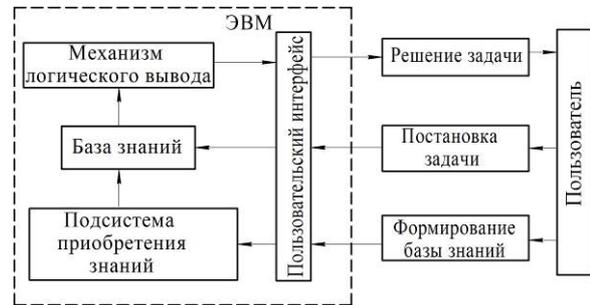


Рис. 1. Структура системы и ее взаимодействие с конечным пользователем

В состав системы входят следующие модули:

- пользовательский интерфейс;
- подсистема приобретения знаний;
- база знаний;
- механизм логического вывода.

Интерфейс системы, представленный на рис. 2, ориентирован на диалог пользователя с программным обеспечением как на стадии ввода исходной информации, так и при получении готового решения поставленной задачи.

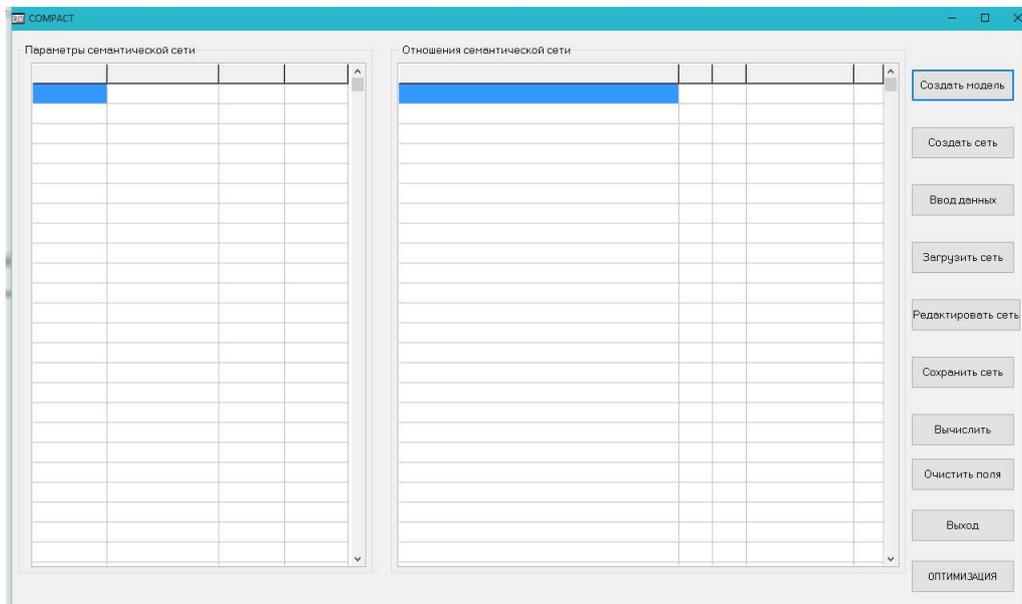


Рис. 2. Интерфейс системы

Подсистема приобретения знаний включает:

- модуль создания базы знаний;
- модуль загрузки ранее созданной базы знаний;

- модуль редактирования базы знаний;
- модуль сохранения базы знаний.

Модуль загрузки базы знаний с помощью процедуры «Загрузить сеть» (рис. 2) позво-

ляет системе работать с готовыми базами знаний, которые хранятся в файлах текстового типа.

Процедура «Редактировать сеть» добавляет новые отношения в базу знаний или вносит изменения в отношения ранее по-

строенной функциональной семантической сети (рис. 3).

Модуль сохранения позволяет сохранять как созданную базу знаний, так и изменения, внесенные в готовую базу с помощью процедуры «Сохранить сеть» (рис. 3).

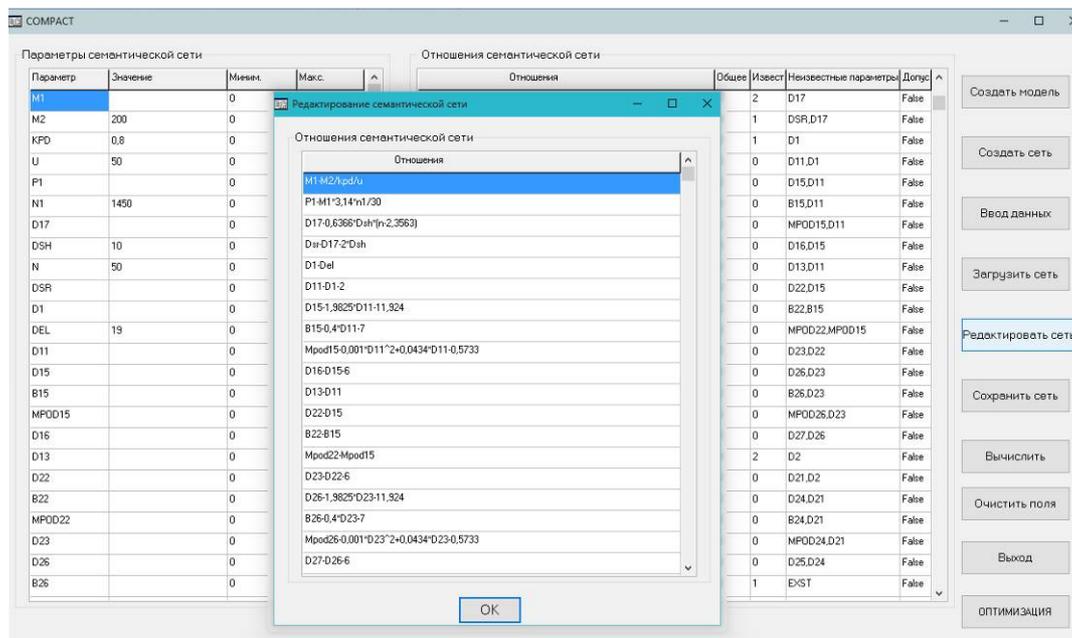


Рис. 3. Диалоговое окно редактирования семантической сети

Модуль создания базы знаний осуществляет построение технической модели проектируемого механизма, а также определение математических зависимостей, описывающих созданную модель.

С помощью процедуры «Создать сеть» (рис. 3) система самостоятельно определяет параметры, входящие в состав математических зависимостей, описывающих ранее созданную техническую модель, и автоматически формирует математическую модель проектируемой системы в виде функциональной семантической сети, представляющую собой логическую схему, описывающую функциональные взаимосвязи между аргументами совокупности указанных математических зависимостей [3].

Таким образом, функционирование системы Comract осуществляется по следующему принципу. Первоначально создается техническая модель, затем строится математическая модель и формируется алгоритм решения задачи. Формирование моделей осуществляется тремя соответствующими

процессорами (рис. 4).

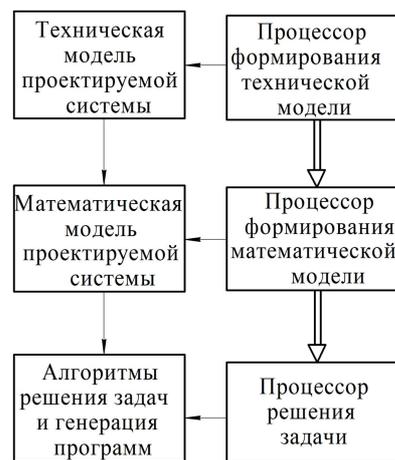


Рис. 4. Алгоритм функционирования системы

Процессор формирования технической модели содержит набор диалоговых окон, с помощью которых последовательно выбираются характеристики проектируемых приводов механизмов.

Процессор формирования математической

модели устанавливает соответствие между компонентами технической модели и моделирующими их математическими отноше-

ниями, а также строит математическую модель проектируемой системы в виде функциональной семантической сети (рис. 5).

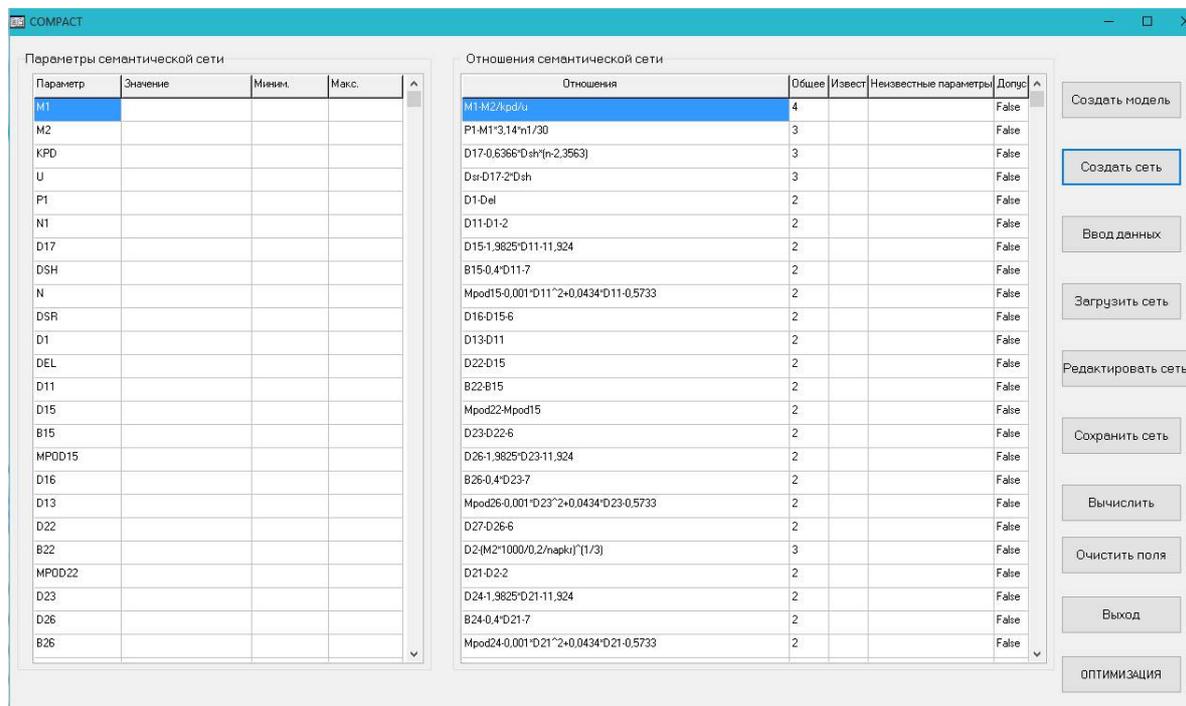


Рис. 5. Диалоговое окно с функциональной семантической сетью

Процессор решения задач осуществляет планирование вычислений на семантических сетях, заключающееся в синтезе алгоритма решения задачи, и формирует программу, выполняемую системой логического вывода.

Переход от математического уровня к программному осуществляется в процессе постановки задачи при нахождении минимально замкнутой системы отношений, построение которой позволяет указать какие разрешения должны быть у каждого из отношений сети и из каких программных модулей образуется цепочка рабочей программы [4].

Организацию и управление вычислительным процессом осуществляет механизм логического вывода, состоящий из трех основных модулей:

- модуля, осуществляющего семантический анализ строкового выражения, содержащего функциональную зависимость;
- модуля, который производит чтение заданного текста и формирует так называемую польскую запись;
- модуля, осуществляющего расчет выра-

жения по сформированной польской записи.

Модуль, осуществляющий семантический анализ строкового выражения, поочередно считывает символы строки и определяет его принадлежность или к числовой константе, переменной, символу операции, или к имени функции.

По результатам семантического анализа строкового выражения, содержащего функциональную зависимость, создается обратная польская запись, представляющая собой массив управляющих команд, выполнение которых обеспечивает требуемую последовательность вычислений [5].

Задача расчета и проектирования приводов на основе использования функциональной семантической сети сводится к задаче многофакторной оптимизации:

$$\begin{cases} M(\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_n) \rightarrow \min; \\ \pi_i \in \{R_j\}, \end{cases} \quad (1)$$

где M – масса проектируемого механизма, кг; π_i – параметры деталей и узлов привода; $\{R_j\}$ – область ограничений оптимизируе-

мых параметров.

Оптимизация параметров приводов механизмов на семантической сети заключается в том, чтобы, используя функциональные зависимости, определить значения параметров, при которых обеспечиваются его минимальные массогабаритные показатели.

В системе Comrast для определения рациональных параметров проектируемой системы на функциональной семантической сети используется комбинированный алгоритм, сочетающий преимущества методов случайного поиска и покоординатного спуска [6].

Чтобы повысить уровень взаимозаменяемости и уменьшить номенклатуру изделий и типоразмеров заготовок, размерного режущего инструмента, оснастки, а также, чтобы создать условия для эффективной специализации предприятий, удешевления продукции при унификации и разработке стандартов применяют принцип предпочтительности, являющийся теоретической базой стандартизации. Согласно этому принципу устанавливают несколько рядов значений стандартизуемых параметров с тем, чтобы при их выборе первый ряд предпочитать второму, второй – третьему.

Таким образом, при выборе параметров необходимо придерживаться определенных, строго обоснованных рядов чисел, которые подчиняются определенной математической закономерности.

В связи с этим в разработанной интеллектуальной системе предусмотрена функция, осуществляющая округление полученных значений до номинальных размеров, представленных в стандартах (ГОСТ 8032-84, ГОСТ 6636-69 и др.).

Кроме того, предложено использовать списочные структуры для описания в системе параметров, имеющих дискретный характер (например, материалов деталей изделий, размеров подшипников).

Так, системой учитывается, что диаметры участков валов под подшипники качения должны приниматься равными диаметру внутреннего кольца подшипника и должны быть кратны пяти.

Системой также учитываются как физические, так и механические свойства широ-

кого круга материалов (углеродистые, легированные стали, цветные металлы, пластик и др.). Многообразие материалов, используемых при изготовлении элементов конструкций, объясняется тем, что различные материалы имеют неодинаковые свойства, которые используются инженерами для решения тех или иных конструкторских или технологических задач.

Наиболее важным физическим свойством, значение которого учитывают при практическом использовании материалов, является плотность, так как уменьшение расхода материалов и снижения массы металлоконструкций и машин является тенденцией современного машиностроения. Чем меньше плотность материалов, тем ниже динамические нагрузки на детали и меньше расход энергии на эксплуатацию машины.

Механические свойства материалов, учитываемые системой при расчетах деталей машин на прочность, жесткость и устойчивость, включают пределы текучести σ_T , прочности σ_e , выносливости материала при деформации изгиба σ_n , кручения τ_n и др.

На этой основе разработанная система позволяет не только учитывать свойства конкретного материала при прочностных расчетах деталей машин, но и может обеспечивать выбор материала, пригодного для изготовления конкретной детали, исходя из принятого критерия оптимальности.

Рассмотрим расчет и проектирование радиально-плунжерного редуктора с помощью системы Comrast. Расчетная схема механизма представлена на рис. 6.

При проектировании редуктора исходными данными являются:

- частота вращения ведущего вала (приводного электродвигателя) $n_1 = 1450$ об/мин;
- передаточное отношение редуктора $U = 50$;
- КПД редуктора $\eta = 0,8$;
- вращающий момент на ведомом валу редуктора $M_2 = 200$ Н·м;
- диаметр вала электродвигателя $d_{el} = 19$ мм;
- предел прочности на растяжение $[\sigma_H] = 2200$ МПа;
- предел прочности на кручение стальных валов $[\tau_k] = 180$ МПа.

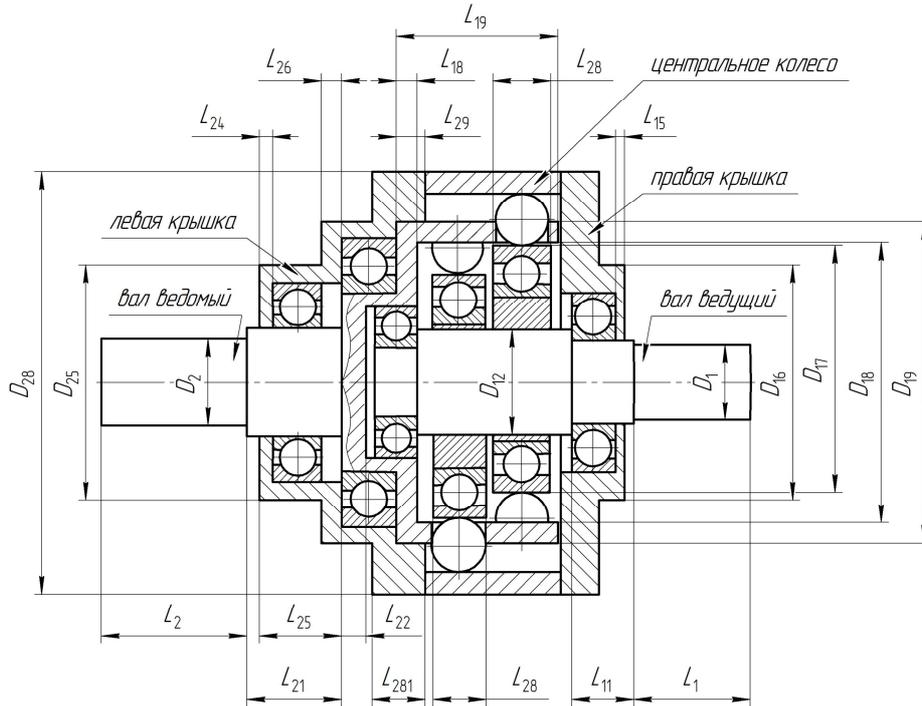


Рис. 6. Расчетная схема редуктора

После выбора характеристик редуктора автоматически определяются математические отношения, которые будут использоваться при расчете его параметров (рис. 7).

Далее с помощью процедуры «Создать сеть» (рис. 7) анализируются полученные математические зависимости и определяются параметры, входящие в состав этих отношений. В результате формируется функциональная семантическая сеть, отношения и

параметры которой представлены в таблицах главного диалогового окна системы (рис. 8).

После ввода исходных данных и ограничений параметров сети (рис. 9) заполняются все поля таблиц главного диалогового окна (рис. 10).

В таблице «Параметры семантической сети» содержатся параметры проектируемой системы, их величины, а также интервал значений для поиска решений (рис. 10).

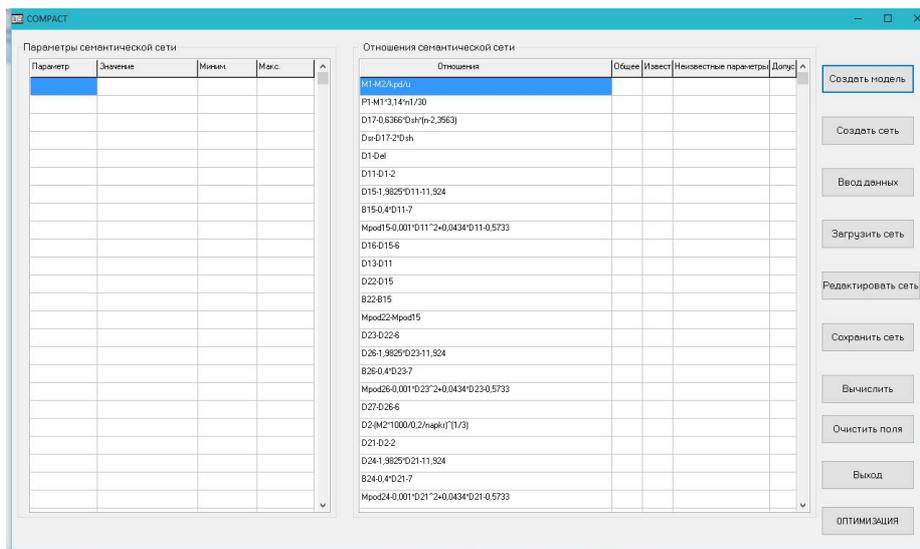


Рис. 7. Главное диалоговое окно с отношениями

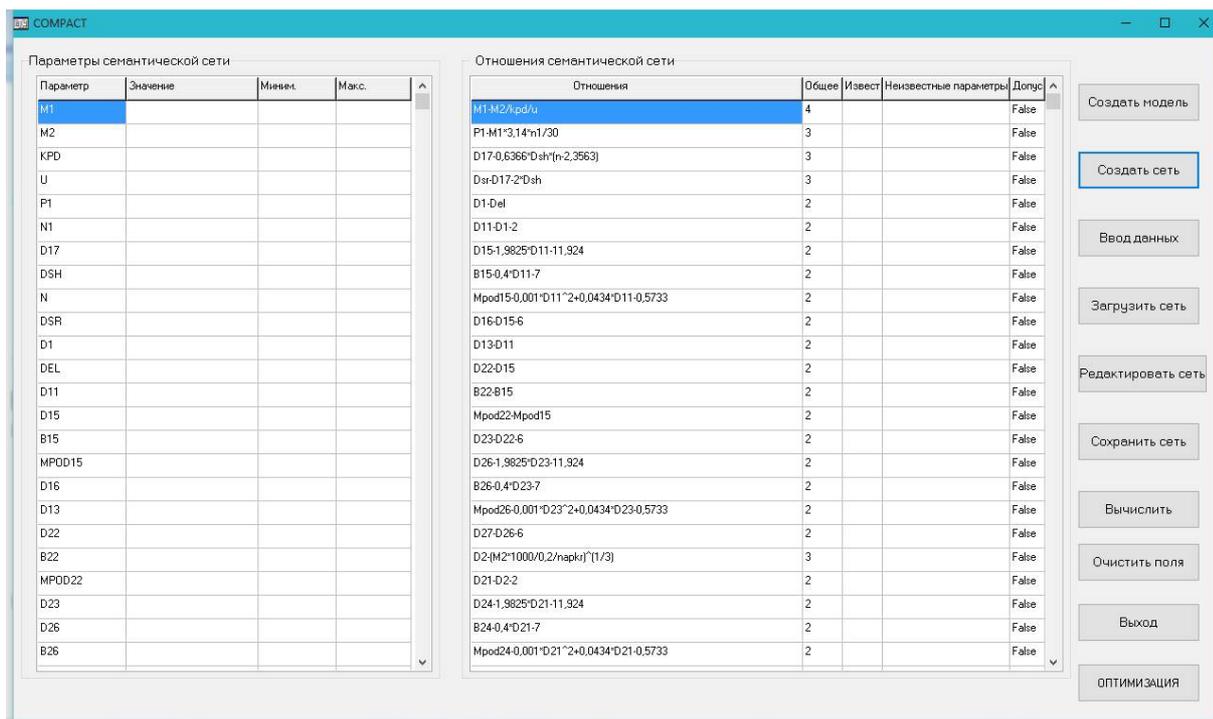


Рис. 8. Главное диалоговое окно с функциональной семантической сетью

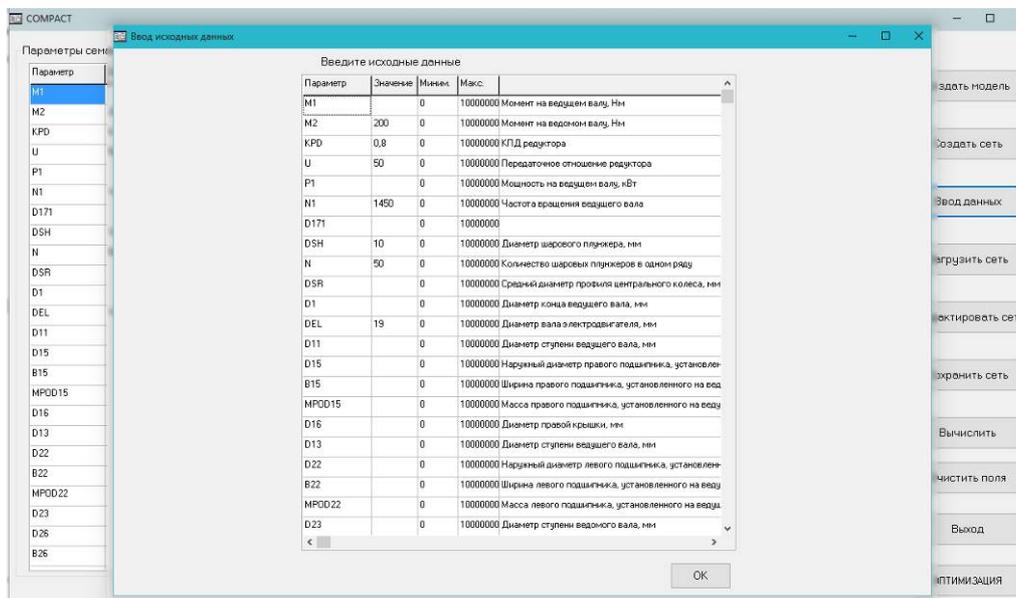


Рис. 9. Диалоговое окно ввода исходных данных

В таблице «Отношения семантической сети» представлены отношения, которые используются при расчете радиально-плунжерного редуктора. Для каждого из отношений указано общее количество параметров (столбец «Общее»), число известных параметров (столбец «Извест.»), а также приведен список неизвестных параметров (столбец

«Неизвестные параметры»), значения которых должны быть определены (рис. 10).

С помощью процедуры «Вычислить» определяем массу редуктора MRED (рис. 11).

Так, при приведенных исходных данных была определена масса редуктора, равная 60,05 кг (рис. 12).

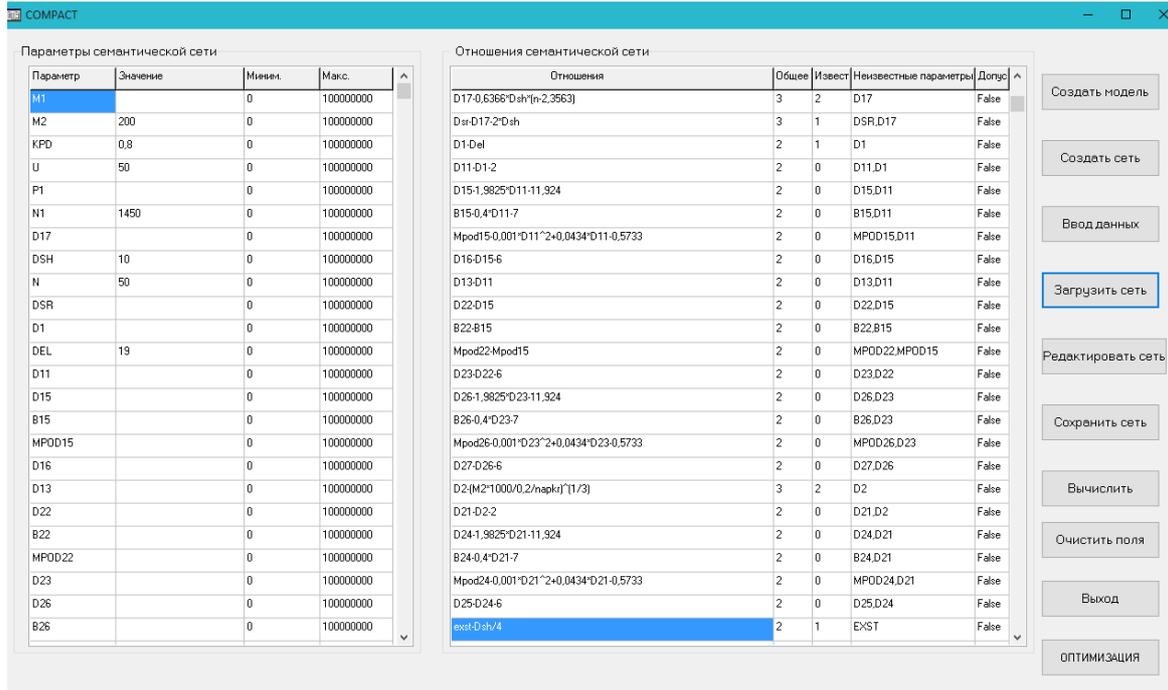


Рис. 10. Главное диалоговое окно после загрузки базы данных

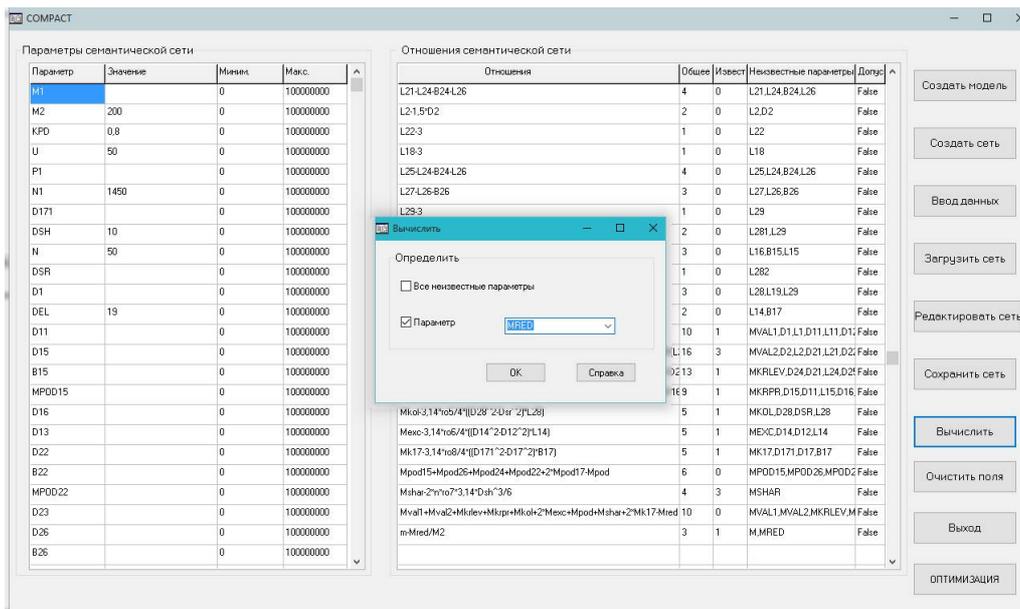


Рис. 11. Диалоговое окно выбора рассчитываемого параметра

С целью минимизации массы редуктора с помощью процедуры «Оптимизация» система осуществила выбор оптимальных параметров редуктора. Для этого указывались в диалоговом окне, представленном на рис. 13, оптимизируемые параметры D_{12} , D_{16} , D_{17} , D_{25} , D_{28} , L_1 , L_2 , L_{15} , L_{18} , L_{19} , L_{22} , L_{24} , L_{26} .

В результате системой были найдены оптимальные значения параметров редуктора, при которых обеспечивается наименьшая

масса редуктора, равная 48,995 мм (рис. 14).

Таким образом, после определения системой оптимальных параметров деталей редуктора его масса была снижена на 22 %.

При этом масса ведущего вала (рис. 6) уменьшилась с 0,568 до 0,479 кг (на 15,7 %) за счет оптимизации размеров L_1 , D_{12} , а также оптимизации толщины стенки правой крышки L_{15} , приведшей к уменьшению размера L_{11} .

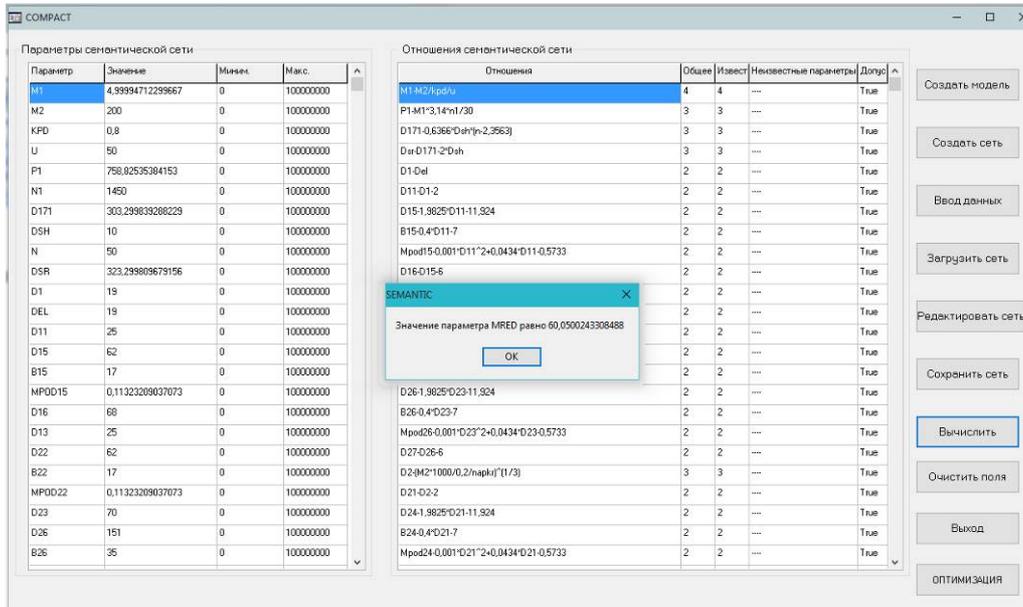


Рис. 12. Результат решения системой

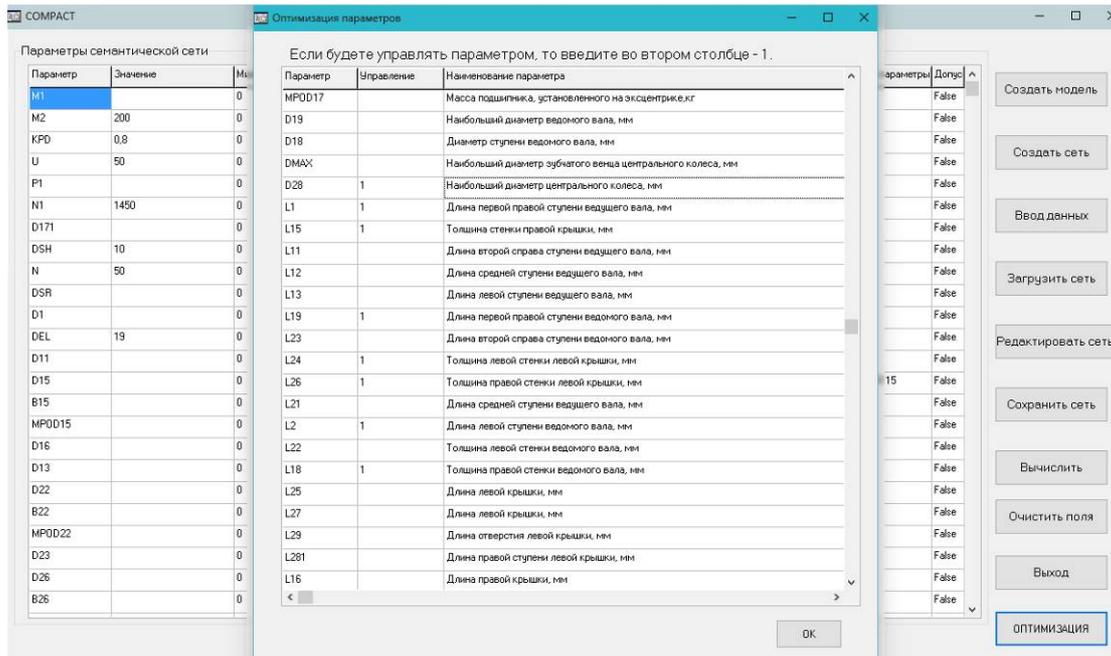


Рис. 13. Выбор управляемых параметров

Масса ведомого вала (рис. 6) снизилась в 1,5 раза (с 6,02 до 3,916 кг) за счет оптимизации толщин его стенок L_{18} , L_{22} , размеров L_{19} , L_2 , D_2 , а также оптимизации толщин стенок левой крышки L_{24} , L_{26} , приведшей к уменьшению размера L_{21} , и оптимизации диаметра D_{17} , что уменьшило наружный диаметр вала D_{19} .

Масса левой крышки (рис. 6) изменилась с

8,33 до 5,54 кг (уменьшилась на 33,4 %) за счет оптимизации ее наружных диаметров D_{25} , D_{28} , толщин ее стенок L_{24} , L_{26} , а также оптимизации толщины стенки ведомого вала L_{18} , что привело к изменению размеров L_{29} , L_{281} .

Масса правой крышки (рис. 6) уменьшилась с 7,63 до 7,05 кг (на 7,6 %) за счет оптимизации наружного диаметра D_{16} и толщины ее стенки L_{15} .

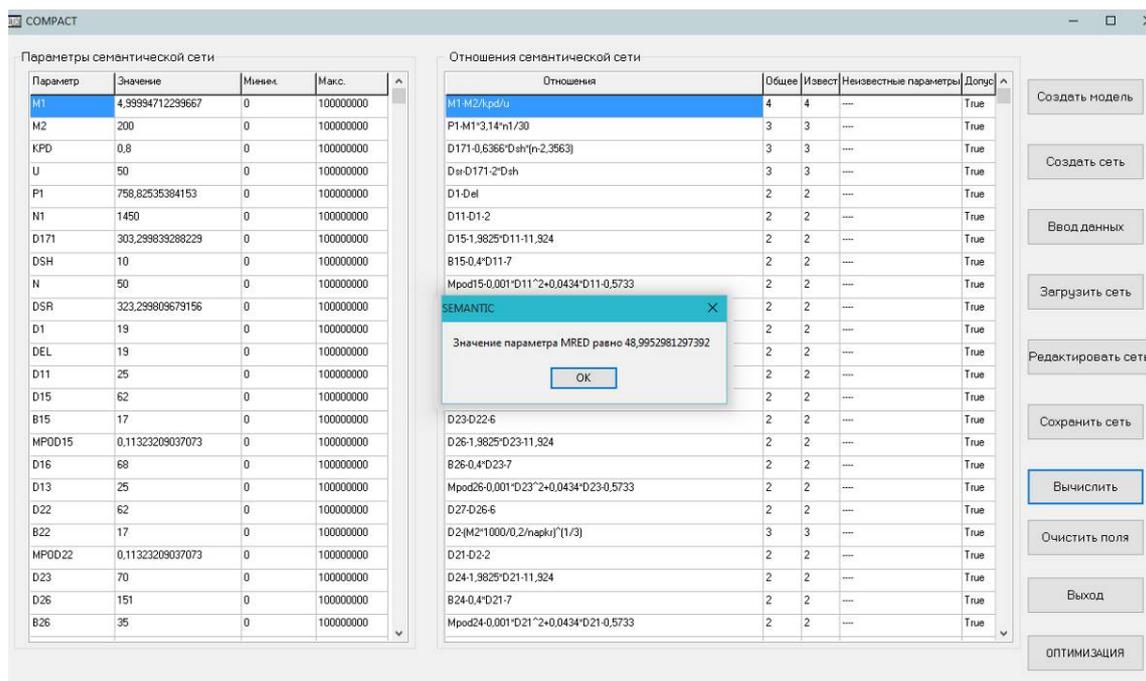


Рис. 14. Результат расчета системой

Масса центрального колеса (рис. 6) снизилась с 5,61 до 4,04 кг в результате уменьшения его наружного диаметра D_{28} , оптимизации толщины стенки L_{18} и размера ведомого вала L_{19} , что привело к уменьшению ширины колеса L_{28} .

Таким образом, использование системы Comrast позволяет обеспечить комплексную автоматизацию проектирования приводных устройств машин. Так как за счет учета функциональных взаимосвязей между параметрами деталей и узлов конструкции при

оптимизации параметров одной детали система автоматически корректирует размеры других деталей, входящих в узел. При этом достигается одновременное снижение массогабаритных показателей нескольких деталей проектируемого узла.

Установлено, что учет функциональных взаимосвязей между параметрами конструкции по сравнению с традиционными методиками расчета обеспечивает резервы снижения материалоемкости и массогабаритных показателей приводных устройств до 8...22 %.

Список литературы

1. Пашкевич, В.М. Расчет параметров радиально-плунжерного редуктора на основе использования функциональных семантических сетей / В.М. Пашкевич, М.Н. Миронова // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2016. – № 4. – С. 52–62. DOI: 10.22281/2413-9920-2016-02-04-52-63
2. Компьютерная программа COMPACT: свидетельство о регистрации компьютерной программы № 949 / В.М. Пашкевич, М.Н. Миронова; заявитель и правообладатель Белорус.-Рос. ун-т. – № 949; заявл. 22.03.2017; зарегистр. 19.04.2017. – 1 с.
3. Пашкевич, В.М. Методология ком-

References

1. Pashkevich V.M., Mironova M.N. Raschet parametrov radialno-plunzhernogo reduktora na osnove ispolzovania funktsionalnykh semanticheskikh setey [Calculation of parameters of radial-piston reducer based on the use of functional semantic networks]. *Nauchno-tekhnicheskiiy vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2016, No. 4, pp. 52–62. DOI: 10.22281/2413-9920-2016-02-04-52-63 (In Russian)
2. Pashkevich V.M., Mironova M.N. *Kompyuternaya programma COMPACT* [Computer program COMPACT]: certificate of registration of computer program, 2017, No. 949, 1 p. (In Russian)
3. Pashkevich V.M., Mironova M.N. Me-

