

УДК 62-83

А.Ю. Смирнов <sup>1,2</sup>, В.И. Чеботарь <sup>3</sup>, Л.В. Кузнецова <sup>4</sup>

## РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО РЕТРАКТОРА ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ПЛАСТИЧЕСКОЙ ХИРУРГИИ

<sup>1</sup> Нижегородский государственный технический университет  
им. Р.Е. Алексеева

<sup>2</sup> Опытное конструкторское Бюро Машиностроения  
им. И.И. Африкантова

<sup>3</sup> ООО «Центр хирургии»

<sup>4</sup> Московский государственный университет пищевых производств

Представлены конструкции хирургических ретракторов – инструментов для проведения операции эндоскопической маммопластики. На основании анализа их потребительских качеств сделан вывод о перспективности разработки электромагнитного инструмента, который обеспечивает удержание тканей при проведении операции посредством электромагнитного поля, воздействующего на постоянный магнит, помещённый за удерживаемыми тканями. Рассмотрена конструкция электромагнита для хирургического ретрактора, выбраны материалы и определены размеры. Методом конечных элементов на осесимметричной сеточной модели выполнены расчёты электромагнитной силы, с которой электромагнит воздействует на постоянный магнит при различной глубине его погружения в ткани. Отмечено нелинейное нарастание силы притяжения постоянного магнита электромагнитом с уменьшением расстояния между ними, т.е., с уменьшением глубины заложения постоянного магнита в ткани. Для предотвращения чрезмерной убыли силы притяжения магнита при большой глубине его заложения в ткани предусмотрено размещение дополнительного постоянного магнита небольших размеров на внутреннем полюсе электромагнита. Предложенный электромагнитный инструмент после проведения соответствующих испытаний может быть внедрён в практику врачей-хирургов и повысит качество операций.

**Ключевые слова:** хирургический ретрактор, электромагнит, электромагнитный ретрактор.

### 1. Введение

Ежегодно в мире производится сотни тысяч увеличивающих маммопластик и число их постоянно растёт. Значительная часть этих операций выполняется через подмышечный доступ с применением эндоскопической техники [1]. Число эндоскопических вмешательств с целью увеличения молочных желез также растёт год от года и, по некоторым оценкам, при-

мерно половине первично-обратившихся к пластическому хирургу пациентов может быть показано использование подмышечного доступа и эндоскопической техники при проведении увеличивающей маммопластики [2]. Таким образом, в мире наблюдается отчетливый рост социального заказа на этот тип хирургических вмешательств.

Эндоскопический этап операции, а именно – формирование имплантационного кармана, часто представляет определенные трудности для хирурга в связи с ограниченным пространством для манипуляций и ограниченной доступностью некоторых зон формируемого кармана для рабочих участков применяемых эндоскопических инструментов [2]. При работе в формируемом имплантационном кармане хирургу также приходится постоянно преодолевать давление отслоенного поверхностно-расположенного лоскута тканей, который под действием гравитации и собственной силы упругости стремится вернуть естественное положение на торсе пациента.

## II. Состояние вопроса

В настоящее время производителями хирургического инструментария достигнуты определенные успехи на пути решения данных проблем. Для удобства оперирующего хирурга предложены разнообразные варианты крючков, ретракторов, зеркал и иных инструментов, предназначенных для коррекции формы имплантационного кармана в процессе эндоскопического этапа операции. В частности, получил применение грудной диссектор марки 50251 DE по ECKERT, фирмы Karl Storz GmbH & Co. По форме этот инструмент напоминает «кочергу» (рис. 1), его рабочий конец – тупоконечный, загнутый, предназначен для непосредственного поднятия и натяжения тканей в области производимых хирургом манипуляций, на другом конце имеется адаптированная для удержания рукой ассистента рифленая ручка цилиндрической формы.



Рис. 1. Хирургический диссектор марки 50251 DE

Ассистент хирурга держит инструмент за ручку, погружает его через разрез кожи в формируемый имплантационный карман и рабочим концом диссектора осуществляет непосредственное поднятие и натяжение тканей в области текущих хирургических манипуляций.

Данный инструмент имеет ряд недостатков. Во-первых, перемещение поверхностных тканей грудным диссектором данного типа ограничи-

вается фиксированным положением той его части, которая при работе в ране находится в области небольшого кожного разреза: данный диссектор приподнимает поверхностные ткани через создаваемый рычаг с точкой опоры в области подмышечного разреза кожи. Таким образом, движение натягивающего и приподнимающего ткани конца инструмента по дуге всегда направлено в сторону хирурга-оператора, что не позволяет создать нужный, близкий к прямому угол расхождения между грудной клеткой и поднимаемым лоскутом поверхностных тканей по краям формируемого кармана. Во-вторых, ручка для удержания инструмента, имеет цилиндрическую форму, поэтому, несмотря на свою рифленую поверхность, относительно легко проворачивается в удерживающей руке ассистента при ротации рабочего конца под действием силы упругости комплекса приподнимаемых поверхностных тканей. Это нарушает экспозицию тканей в ране и увеличивает общее время операции за счет времени, необходимого для восстановления требуемого взаимного положения тканей. В-третьих, для эффективного удержания инструмента погруженным в рану через малый кожный разрез в подмышечной области ассистенту необходимо стоять очень близко к оперирующему хирургу, что может создавать неудобства для оперирующего хирурга и ограничивать свободу его движений.

Более совершенный прибор (производитель Karl Storz GmbH & Co) снабжается шпателем-козырьком для поднятия тканей и тубусом для оптики HOPKINS™ II 50253 BA. Он имеет прямой корпус с перпендикулярно расположенной к нему ручкой, предназначенной для удерживания инструмента хирургом-оператором, и имеет на конце удлиненный козырек в форме перевернутой лопатки для поднятия тканей над объективом видеокамеры и источником света (рис. 2).

Конструкция данного инструмента не подразумевает его удерживания ассистентом хирурга. Инструмент занимает одну руку оперирующего хирурга на весь срок эндоскопического этапа операции, ограничивая возможности оператора по ряду манипуляций и физически утомляя оперирующего хирурга. Кроме того, позиционирование поверхностных тканей данным инструментом ограничивается фиксированным положением той его части, которая во время работы находится в области небольшого (4-7 см) кожного разреза в подмышечной области.

Ретрактор такого типа (марка 50251 LG) приподнимает поверхностные ткани через создаваемый рычаг с точкой опоры в области подмышечного разреза кожи таким образом, что движение натягивающего и приподнимающего ткани конца инструмента по дуге всегда направлено в сторону хирурга-оператора. Это не позволяет создать нужный, близкий к прямому угол расхождения между грудной клеткой и поднимаемым лоскутом поверхностных тканей по краям формируемого кармана. Кроме того, обозна-

ченный выше шпатель-козырек в конструкции ретрактора в процессе операции прилегает непосредственно к нижней отслоенной поверхности большой грудной мышцы в отслоенном комплексе поверхностных тканей. При перемещении шпатель-козырек может легко проскальзывать между пересеченными в процессе операции волокнами большой грудной мышцы, расслаивая и отрывая их, чем значительно усугубляет травматизацию большой грудной мышцы.



Рис. 2. Усовершенствованный прибор Karl Storz GmbH & Co., снабженный шпателем-козырьком для поднятия тканей

### III. Описание электромагнитного устройства

Прогресс в области разработки, массового производства и удешевления энергонасыщенных постоянных магнитов, обозначившийся в последние годы, позволяет оценить перспективные аналоги рассмотренных устройств, основанные на удержании тканей при формировании имплантационного канала посредством магнитного поля. Для этого ручка ретрактора сопрягается с электромагнитом 1 (рис. 3), а в формируемый имплантационный канал тела человека вводится мощный постоянный магнит 2 относительно небольших размеров. В результате взаимодействия (притяжения) полей катушки 3 электромагнита и внедрённого постоянного магнита в асептической оболочке 4 создаётся электромагнитная сила, обеспечивающая подъем и удержание тканей в нужном положении при проведении пластической операции.

Наиболее подходящим материалом для вводимого постоянного магнита являются сплавы на основе самария и кобальта. Они могут создать сильные магнитные поля при малых габаритах, обладают высокой

температурной и временной стабильностью характеристик, а также относительно высокой устойчивостью к коррозионным процессам.

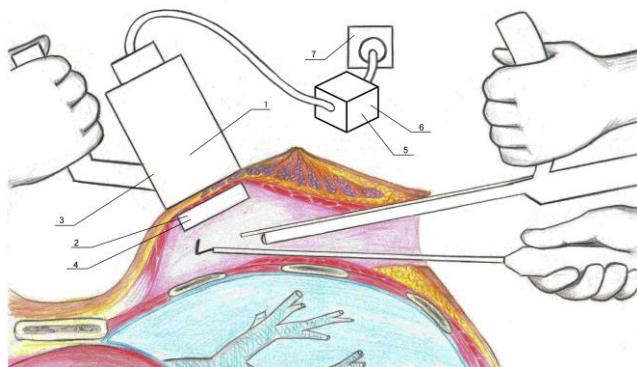


Рис. 3. Схема использования электромагнита при проведении пластической операции по увеличению груди:

- 1 – электромагнит, 2 – постоянный магнит, 3 – катушка электромагнита, 4 – введённый постоянного магнита в асептической оболочке, 5 – источник постоянного напряжения, 6 – устройство регулирования, 7 – розетка

Материал допускает нагрев при дезинфицирующей термообработке до 350 °С. Характеристики одного из сплавов группы, не самого лучшего по параметрам, но освоенного промышленностью и широко применяемого в различных областях техники, марки КС25ДЦ [4] производства ООО «ПОЗ-Прогресс», представлены в табл. 1.

Таблица 1.

Характеристики материала постоянного магнита марки КС25ДЦ

Температура, °С	20	355	450	550
Индукция холостого хода, Тл	0,9	0,72	0,64	0,56
Коэрцитивная сила, А/м	680	512	376	210

Электромагнит с заданными свойствами получает питание от источника постоянного напряжения 5, сопряженного с устройством регулирования 6, который соединен с однофазной сетью через обычную розетку 7 (рис. 3). При этом электромагнит образует на поверхности, пересекающей кожу груди, два концентричных полюса противоположной полярности: внешний, в форме кольца и внутренний, в форме круга.

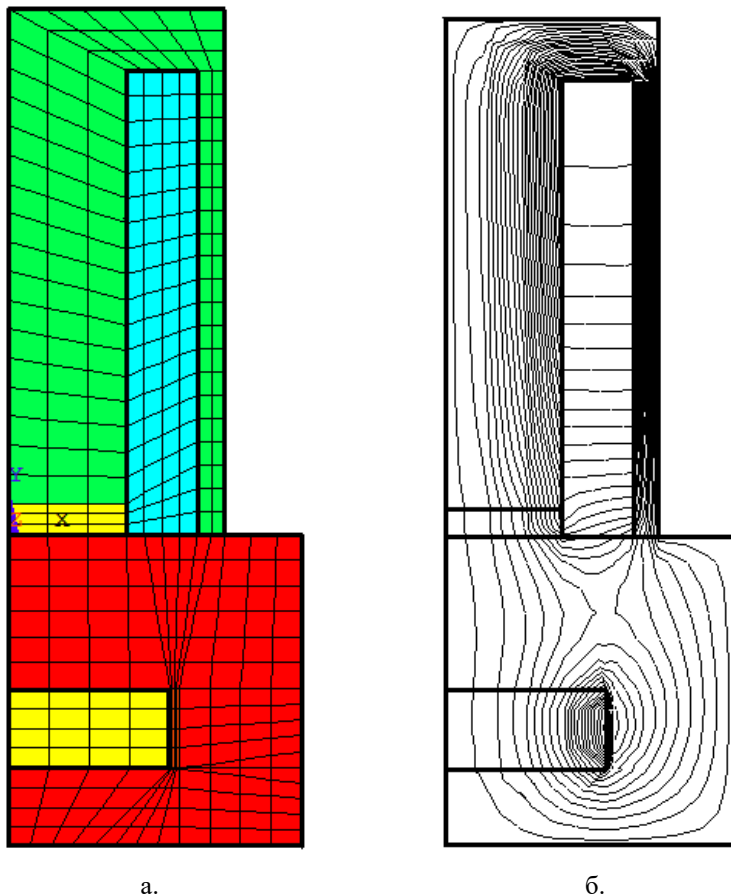
В формируемый имплантационный карман помещается цилиндрический магнит в форме диска, ось магнита совпадает с осью магнитопровода. Стерильный магнитопровод устанавливается в операционную рану с соблюдением правил асептики и антисептики. Поле электромагнита взаимодействует с полем постоянного магнита поля цилиндрического магнитопровода и оказывает на него притягивающее действие, проникая через кожу, подкожно-жировую клетчатку и большую грудную мышцу. При притяжении постоянного магнита к электромагниту происходит сжатие и фиксация комплекса поверхностных тканей между притягиваемыми элементами.

Таким образом, осуществляется механическое сжатие комплекса тканей, и через сжатие – фиксация комплекса тканей между взаимодействующим электромагнитом, установленным на поверхности тела пациента, и магнитопроводом внутри операционной раны. Фиксированный между электромагнитом и магнитопроводом комплекс тканей удобно перемещать и натягивать в необходимом направлении, в зависимости от текущих нужд оперирующего хирурга. Это делает возможным точнее контролировать изменение геометрии формируемого имплантационного кармана и экспозиции тканей в операционной ране, что в свою очередь повышает удобство работы оперирующего хирурга, увеличивает скорость и точность его манипуляций, снижает вероятность интра- и постоперационных осложнений, снижает общую продолжительность операции и наркоза.

#### **IV. Математическая модель и результаты расчетных исследований**

Для расчета силы механического сжатия и фиксации тканей человека при проведении операции, по воздействию на постоянный магнит со стороны электромагнита, разработана сеточная модель (рис. 4,а). Модель содержит осесимметричные области, относящиеся к магнитопроводу электромагнита, постоянным магнитам, обмотке электромагнита, и немагнитные промежутки между постоянным магнитом и электромагнитом, замещающие притягиваемые ткани. Она позволяет рассчитать двухмерное поле в области сечения исследуемых областей методом конечных элементов (рис. 4,б) [5], а затем вычислить электромагнитную силу [6], действующую на постоянный магнит.

В ходе расчётных исследований установлено, что лучшие результаты, а именно большие усилия при глубоком заложении магнита в ткани, обеспечивает конструкция, снабженная дополнительным постоянным магнитом небольших размеров на внутреннем полюсе электромагнита, как это представлено на сеточной модели (рис. 4,а).



а. б.  
Рис. 4. Сеточная модель электромагнита, воздействующего на постоянный магнит в не ферромагнитной среде (а) и рассчитанное на ней распределение поля в расчетной области (б)

Расчеты проведены для электромагнита с внешним диаметром (по магнитопроводу) 70 мм и общей высотой 85 мм, при плотности тока в обмотке, при которой нагрев корпуса электромагнита не оказывает воздействия на кожные покровы врача и пациента. Они выявили резко выраженную зависимость силы притяжения магнита от глубины его погружения (табл. 2).

Таблица 2.  
Зависимость силы притяжения магнита  
от расстояния до электромагнита

Расстояние до электромагнита, см	2,5	2,0	1,5	1,0	0,5
Сила притяжения, Н	63,1	92,1	143,3	225,3	385,6

При расстояниях менее 1 см наблюдается чрезмерный рост силы притяжения, способный вызвать защемление мягких тканей пациента. Во избежание травм ретрактор на основе рассмотренного электромагнита следует использовать в комплекте с дополнительными немагнитными прокладками, ограничивающими чрезмерное приближение к нему внедряемого постоянного магнита, либо снабдить устройство регулирования напряжения б системой уменьшения тока по сигналам датчика положения. Он может быть выполнен на элементе Холла, во взаимодействии с полем внедряемого магнита [7].

#### V. Разработка макета

Для магнитопровода макета электромагнита подходит обычная конструкционная сталь: сталь 10 или сталь 20 [8]. При этом внутренний и внешний полюсы могут быть изготовлены отдельно и затем соединены вместе посредством резьбового соединения.

Число витков и обмоточные данные катушки электромагнита рассчитываются, исходя из размеров обмоточного окна и номинального напряжения [10]. Обмоточные данные низковольтной катушки электромагнита с приведёнными выше габаритными характеристиками представлены в табл. 3.

Таблица 3.  
Расчет обмоточных данных катушки электромагнита

Наименование параметра	Значение
Внутренний диаметр обмоточного окна, за вычетом катушечной изоляции, мм	18
Наружный диаметр обмоточного окна, за вычетом катушечной изоляции, мм	30
Высота (осевая длина) обмотки, мм	72
Плотность тока, А/мм <sup>2</sup>	6,0
Коэффициент заполнения медью площади обмоточного окна [9]	0,72
Диаметр провода (марки ПЭТ-200) в изоляции/без изоляции, мм	0,50/0,552
Число витков	735
Номинальный ток, А	1,18
Средняя длина витка, м	0,0754
Активное сопротивление катушки, Ом	4,95



Продолжение табл. 3.

Наименование параметра	Значение
Номинальное напряжение, В	5,8
Потребляемая мощность, Вт	6,84

Полная электрическая схема для питания обмотки электромагнита должна содержать регулируемый источник постоянного напряжения мощностью не менее 7 Вт или выпрямитель, понижающий трансформатор и регулируемый, ступенчато или плавно, источник переменного напряжения соответствующей мощности.

После изготовления и отладки устройства предполагается всестороннее его тестирование на макетах и имитаторах.

### VI. Вывод

Создание электромагнитного ретрактора может стать новым интересным направлением применения электромагнитных устройств в медицине, обеспечивающим повышение качества проведения весьма востребованной в современной практике хирургической операции.

© Смирнов А.Ю., 2019

© Чеботарь В.И., 2019

© Кузнецова Л.В., 2019

### Библиографический список

- [1] Курс пластической хирургии: Руководство для врачей. В 2-х томах. Т. II: Молочная железа. Туловище и нижняя конечность. Кисть и верхняя конечность. Под ред. К.П. Пшениснова. Ярославль, Рыбинск: Изд-во ОАО Рыбинский дом печати, 2010. – 665 с.
- [2] Wang C., Chen L., Mu D., Xin M., Luan J. A low-cost simulator for training in endoscopic-assisted transaxillary dual-plane breast augmentation // *Annals of plastic surgery*. 2017. № 79 (6). P. 525-528.
- [3] Strock L.L. Transaxillary endoscopic silicone gel breast augmentation // *Aesthetic surgery journal*. 2010. № 30 (5). P. 745-755.
- [4] ГОСТ 21559-76. Материалы магнитотвердые спечённые. Марки. Введ. 1977-07-01. М.: Изд-во стандартов, 1976. – 43 с.
- [5] Фисенко В.Г. Численные расчеты электромагнитных полей в электрических машинах на основе метода конечных элементов. М.: Изд-во МЭИ, 2002. – 44 с.
- [6] Иванов-Смоленский А.В. Электромагнитные силы и преобразование энергии в электрических машинах. М.: Высшая школа, 1989. – 312 с.
- [7] Смирнов А.Ю., Шаров А.В. Электропривод с бесконтактными синхронными двигателями. Н. Новгород: НГТУ, 2017. – 193 с.
- [8] Константинов О.Я. Расчёт и конструирование магнитных и электромагнитных приспособлений. Л.: Машиностроение, 1967. – 315 с.

- [9] Гольдберг О.Д., Гурин Я.С., Свириденко И.С. Проектирование электрических машин. М.: Высшая школа, 1984. – 431 с.
- [10] Ротерс Г.К. Электромагнитные механизмы. М.; Л.: ГЭИ, 1949. – 523 с.

**A.Yu. Smirnov**<sup>1,2</sup>, **V.I. Chebotar**<sup>3</sup>, **L.V. Kuznetsova**<sup>4</sup>

## **DESIGN OF ELECTROMAGNETIC SURGICAL RETRACTOR FOR PLASTIC SURGERY APPLICATION**

<sup>1</sup> Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev  
Nizhny Novgorod, Russia

<sup>2</sup> Africantov Experimental Design Bureau for Mechanical Engineering  
Nizhny Novgorod, Russia

<sup>3</sup> The «Center of Surgery» Co Ltd  
Nizhny Novgorod, Russia

<sup>4</sup> Moscow State University of Food Production  
Moscow, Russia

**Abstract.** Designs of instruments intended for the operation of endoscopic mammoplasty - surgical retractors are presented. On the base of analysis their consumer qualities a conclusion on prospective development of electromagnetic tool has been drawn, which ensures tissue retention during an operation, by means of an electromagnetic field acting on a permanent magnet placed back from retained tissues. The electromagnet design for surgical retractors application is considered, which consists from inner and outer concentric equal-area poles, locked by common armature, and winding, placed between them. The magnetic materials and dimensions have been selected. The calculations of the permanent magnet attraction electromagnetic force at various depths of immersion in tissue have been executed. The calculations have been performed by the finite element method on an axisymmetric grid model. A nonlinear increase in the attractive force of a permanent magnet by an electromagnet is noted with a decrease in the distance between them, i.e. with a decrease in the depth of the permanent magnet in the tissue. To prevent an excessive decrease in the force of attraction of the magnet with a large depth of its insertion into the tissue, it is provided that an additional permanent magnet of small sizes be placed at the inner pole of the electromagnet. Dimensions have been selected, winding data have been calculated, and prototype parts have been made. It is assumed that after comprehensive studies on models and simulators, and tests on living tissues, the considered electromagnetic instrument can be introduced into the practice of surgeons to improve the quality of operations.

**Keywords:** electromagnet, electromagnetic retractor, surgical retractor.

**References**

- [1] K.P. Pshenisnov, *Kurs Plasticheskoy Hirurgii: Rukovodstvo dlya Vrachey (Plastic Surgery Course: A Guide for Physicians)*. Yaroslavl, Rybinsk: Izd. Rybinskiy dom pečati, 2010 (in Russian).
- [2] C. Wang, L. Chen, D. Mu, M.Xin and J. Luan, «A Low-Cost Simulator for Training in Endoscopic-Assisted Transaxillary Dual-Plane Breast Augmentation», *Annals of Plastic Surgery*, vol. 79 (6), pp. 525-528, Dec. 2017.
- [3] L.L. Strock, «Transaxillary endoscopic silicone gel breast augmentation», *Aesthetic Surgery Journal*, vol. 30 (5), pp. 745-755, Sept. 2010.
- [4] Magnetically hard sintered materials. Marks, GOST 21559-76, July 1977 (in Russian).
- [5] V.G. Fisenko, *Chislennyye raschety elektromagnitnykh poley v elektricheskikh mashinakh na osnove metoda konechnykh elementov (Numerical calculations of electromagnetic fields in electric machines based on the finite element method)*. Moscow: MPEI, 2002 (in Russian).
- [6] A.V. Ivanov-Smolenskiy, *Elektromagnitnyye sily i preobrazovaniye energii v elektricheskikh mashinakh (Electromagnetic forces and energy conversion in electric machines)*. Moscow: Vysshaya shkola, 1989 (in Russian).
- [7] A.Yu. Smirnov and A.V. Sharov, *Elektroprivod s beskontaktnymi sinkhronnymi dvigatelyami (Electric drive with contactless synchronous motors)*. Nizhniy Novgorod: NNSTU, 2017 (in Russian).
- [8] O.Ya. Konstantinov, *Raschet i konstruirovaniye magnitnykh i elektromagnitnykh prisposobleniy (Calculation and design of magnetic and electromagnetic devices)*. St. Petersburg: Mashinostroyeniye, 1967 (in Russian).
- [9] O.D. Goldberg, Ya.S. Gurin and I.S. Sviridenko, *Proyektirovaniye elektricheskikh mashin (Design of electrical machines)*. Moscow: Vysshaya shkola, 1984 (in Russian).
- [10] G.C. Roters, *Elektromagnitnyye mekhanizmy (Electromagnetic mechanisms)*. Moscow; St. Petersburg: GEI, 1949 (in Russian).