

11. Auricchio F. et al. Fatigue of 316L stainless steel notched μ m-size components // Int. J. Fatigue. 2014. Vol. 68. PP. 231-247.
12. Hall E.J. Guyton and hall textbook of medical physiology / 13th edition. – Elsevier, 2011.
13. Schmidt T. et al. Coronary Stents: History, Design, and Construction // J. Clin. Med. 2018. Vol. 7. № 6. P. 126.

Кирилл Юрьевич Клышинников,
научный сотрудник,
Евгений Андреевич Овчаренко,
канд. техн. наук, зав. лабораторией,
лаборатория новых биоматериалов,
ФГБНУ «Научно-исследовательский
институт комплексных проблем
сердечно-сосудистых заболеваний»,
г. Кемерово,

Дмитрий Владимирович Нушиев,
инженер,
ЗАО «Северсталь Менеджмент»,
г. Москва,
Леонид Семенович Барбараши,
главный научный сотрудник,
ФГБНУ «Научно-исследовательский
институт комплексных проблем
сердечно-сосудистых заболеваний»,
г. Кемерово,
e-mail: KlyshnikovK@gmail.com

Л.М. Смирнова, К.М. Макаров, Е.А. Скребенков, М.И. Монахова

Web-приложение для персонализированного синтеза модульного протеза нижних конечностей

Аннотация

Обсуждается проблема многокритериального выбора комплектующих протеза нижней конечности. Представлены данные о создании программного обеспечения для формирования глобальной электронной базы данных с информацией о моделях протезных модулей, учитываемых при комплектации протеза инвалиду. Использование такой базы предполагается специалистами на распределенных географически удаленных рабочих местах. Успешность решения этой проблемы влияет на персонализацию протезирования и качество медицинской реабилитации инвалидов.

Введение

Выбор моделей протезных модулей при синтезе протеза должен учитывать их соответствие назначению протеза, анатомо-функциональным особенностям, двигательной активности, условиям жизнедеятельности и профессиональной трудовой деятельности, среде проживания, социально-бытовому статусу и другим обоснованным требованиям пациента. При этом поддержка многокритериального принятия решения может быть организована на основе метода, работающего в условиях неопределенности, например метода анализа иерархий [1].

Специалисты протезно-ортопедических предприятий выбирают комплектующие модульного протеза, используя информационно-рекламные каталоги с номенклатурой, шифрами, характеристиками их моделей, включая планируемый режим использования протеза (для повседневного применения, занятий адаптивными видами спорта и т. д.), уровень двигательной активности инвалида, массу тела, возрастную группу, размер обуви, эстетические характеристики модели. Особое значение из этих факторов имеет уровень двигательной активности. У некоторых крупных мировых производителей есть принятые доказательные классификационные системы показателей этого фактора, например система «MOBIS» компании «Ottobock SE & Co. KGaA» (Германия) [2]. Известен также международный инструмент для определения мобильных функций пациента – предиктор мобильности, базирующийся на выполнении и оценке двигательных тестов на протезе и без него [3], [4].

Однако в каталогах представлена номенклатура протезных модулей лишь собственной продукции, причем в объеме и форме, отличающихся для разных производителей. Например, в одних каталогах указаны конструктивные показатели, но не отражены многие из функциональных, в других – наоборот. Некоторые из каталогов не лишены рекламного оттенка, не полностью раскрывают информацию о функциональности изделия, его конструктивных и эксплуатационных характеристиках.

В результате этих проблем протезист при комплектации протеза часто ограничивается только собственным предыдущим опытом работы, что нередко приводит к ошибке: в одном случае назначаются модели с функциональными и техническими характеристиками, недостаточно высокими для уровня анатомо-функционального состояния протезируемого пациента; в другом случае – высокотехнологичные (дорогие) узлы протеза, потенциальные возможности которых, заложенные в конструкцию, пациент не способен или не стремится в полной мере реализовать. В первом случае ошибка приводит к снижению потенциально возможного уровня двигательной активности пациента на протезе и ограничению таким образом прав инвалида, во втором – к необоснованным финансовым затратам на протезирование.

Решению проблемы могла бы способствовать технология персонифицированного синтеза протеза с поддержкой принятия решения при многокритериальном выборе моделей модулей протеза из глобальной базы данных (БД), охватывающей продукцию разных производителей с отражением их характеристик в унифицированной системе признаков.

На этапе начала работы мы не смогли найти аналога подобной технологии, и лишь в процессе ее разработки нам удалось выявить зарубежный источник с описанием аналогичного подхода к проектированию протеза [5]. Нам представилось целесообразным поделиться собственным опытом решения задач, относящихся к разработке подобной технологии, таких как обоснование структуры классификации характеристик модулей протезов нижних конечностей, которая должна лежать в основе глобальной БД протезных модулей, создание программного обеспечения для формирования и сопровождения такой БД.

Цель работы

Целью работы является обоснование структуры классификации характеристик моделей модулей протезов нижних конечностей для персонализированной комплектации протеза инвалиду, создание программного обеспечения для формиро-

вания и сопровождения глобальной электронной базы данных с информацией о моделях протезных модулей.

Материалы и методы

Для систематизации характеристик моделей протезных модулей, учитываемых при синтезе протеза, в работе использован иерархический метод классификации. Предложена классификация глубиной в пять ступеней: первая ступень – множество типов $A = \{a_i\}$ протезных модулей; вторая – множество типов свойств $B = \{b_j\}$ модулей; третья – множество характеристик $C = \{c_k\}$, отражающих свойства модулей; четвертая –

множество признаков $D = \{d_l\}$, являющихся мерой оценки характеристик, отражающих свойства модулей; пятая – нижняя ступень классификации – множество подпризнаков $E = \{e_q\}$, уточняющих оценки признаков (для некоторых признаков подпризнаки могут не использоваться) (табл. 1).

Разработанная классификация легла в основу структуры глобальной электронной БД моделей протезных модулей.

Для формирования и сопровождения этой БД она была создана в виде веб-приложения. В качестве основного инструмента разработки приложения принят веб-фреймворк Django (v3.0) для языка программирования Python (v3.8).

Таблица 1

Структура классификации характеристик моделей модулей протезов нижних конечностей

Ступень	Наименование ступени	Содержание ступени
1	Множество A типов модулей, к которым относятся модели протезной продукции	$A = \{a_i\}, i = 1, 2, \dots, n; n$ – количество типов модулей протезов нижних конечностей: стопа, голеностоп, коленный узел, тазобедренный узел и т. д.
2	Множество B типов свойств модулей (в классификации каждому типу модуля a_i , соответствует один тот же набор типов свойств для выбора модели модуля при протезировании)	$B = \{b_j\}, j = 1, 2, \dots, 6$ (1 – конструкционные; 2 – эстетические; 3 – функциональные; 4 – эксплуатационные; 5 – ограничительные по основным параметрам состояния структур и функций организма пациента; 6 – дополнительные)
3	Множество C характеристик $\{c_k\}$, отражающих свойства $\{b_j\}$ модулей $\{a_i\}$	$C = \{c_k\}, k = 1, 2, \dots, m; m$ – количество характеристик для описания всего множества свойств B
4	Множество D признаков $\{d_l\}$ для описания характеристик $\{c_k\}$, отражающих свойства $\{b_j\}$ модулей $\{a_i\}$	$D = \{d_l\}, l = 1, 2, \dots, p; p$ – количество признаков для описания всего множества характеристик C . Для описания любого c_k используется количество признаков $r_{ck} \geq 1$
5	Множество подпризнаков E для уточнения признаков $\{d_l\}$	$E = \{e_q\}, q = 1, 2, \dots, r; r$ – количество подпризнаков для описания множества признаков D . Для некоторых d_l подпризнаки могут не использоваться ($r_{eq} = 0$)

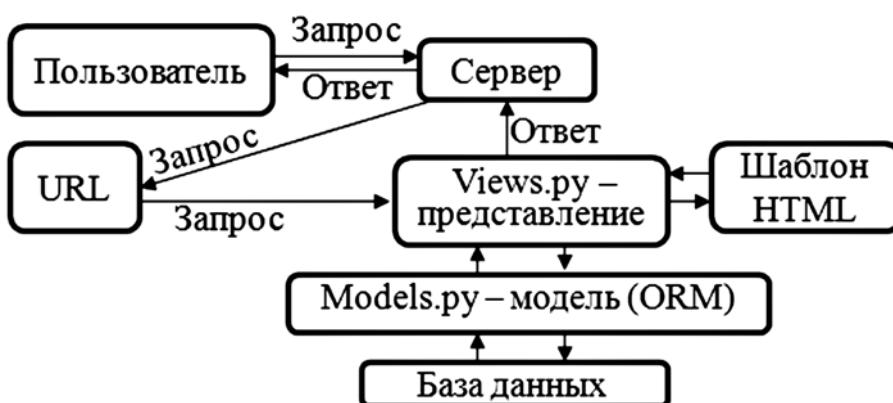


Рис. 1. Архитектура Django

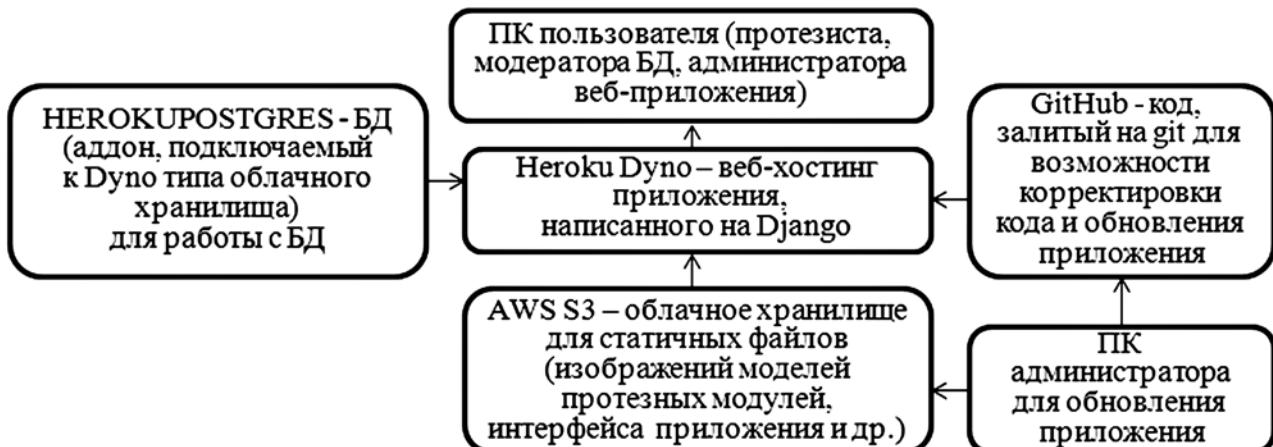


Рис. 2. Архитектура веб-приложения

Таблица 2

Характеристики моделей модулей искусственных стоп

Тип $B = \{b_j\}$	Признаки	
	$C = \{c_k\}$	$D = \{d_l\}, E = \{e_g\}$
b_1 – конструкционные	Тип конструкции	Без шарнира
		С шарниром (1-осным / 2-осным / сферическим)
		С псевдошарниром
	Форма и материал несущего элемента	Обычный / сниженный
		Деревянный
		Пластмассовый S-образный, C-образный
	Наличие и тип микропроцессора	Из композита
		Нет
	Масса модуля	С внутренним источником энергии / с внешним
b_2 – эстетические	Форма	Перечень диапазонов значений
	Рельеф	Антропоморфная / техноформа
	Цвет	Белый/телесный/желтый/коричневый/иной
b_3 – функциональные	Дорси- и плантофлексия	Функция имеется / функция отсутствует
	Инверсия и эверсия	Функция имеется / функция отсутствует
	Аверсия и инверсия	Функция имеется / функция отсутствует
	Демпфирование толчка в перекате через стопу	Переднего есть / нет
		Заднего есть / нет
	Упругость задн. толчка	Слабая / нормальная / повышенна / регулируемая
	Рекуперация энергии	Невозможна / слабая / нормальная / повышенна
	Регулировка подвижности стопы	Невозможна / сагиттальная / фронтальная / сагиттальная и фронтальная
	Регулирование под высоту каблука	Невозможно / установкой дополнительных элементов / переключателем
	Сцепляемость с опорой	Нормальная / повышенная
b_4 – эксплуатационные	Грязеустойчивость	Сниженная / нормальная / повышенная
	Износстойкость	Сниженная / нормальная / повышенная
	Водостойкость	Сниженная / нормальная / повышенная
	Энергозависимость	От аккумулятора / независима
	Гарантийный срок	В годах
	Ремонтопригодность	Отсутствует / сниженная / повышенная
b_5 – ограничения по состоянию структур и функций организма	Возраст	Диапазон возрастных групп
	Пол	Женский / мужской / не имеет значения
	Двигательн. активность	Нулевая / низкая / сниженная / средняя / высокая
	Уровень ампутации	Через голеностопный сустав (ГСС) / выше ГСС
	Предельная масса тела	В килограммах
	Размер стопы	В принятой системе размеров обуви
	Требования к обучению	Обычные / повышенные
	Тип протезирования	Первичное / повторное
	Целевое назначение протеза	Повседневное использование / для купания / для адаптивно-физической культуры и спорта
	Предпочтительные локомоторные режимы использования протеза	Стояние
		Ходьба по ровной поверхности / неровной поверхности / скользкой поверхности
		Подъем и спуск по наклонной поверхности / по лестничному маршру
b_6 – дополнительные	Производство	Отечественное / зарубежное / совместное
	Поставщик	Производитель / официальный представитель производителя в стране / дистрибутор
	Ценовая категория	Перечень диапазонов цен

Причиной такого выбора явилось то, что Django включает в себя собственную технологию объектно-реляционного отображения (Object-Relational Mapping, ORM), описываемую классами на языке Python, что упрощает генерацию БД и связь с объектно-ориентированным языком [6], [7]. Кроме того, данная программная платформа позволяет подключать архитектуру приложений, которые можно устанавливать на любые проекты Django (*рис. 1*).

Важнейшей частью разработанного веб-приложения является модель, обращающаяся к БД при любом запросе из любой сессии работы с приложением и представляющая собой стандартный Python-класс. Модель обеспечивает таким образом доступ непосредственно к БД.

Благодаря наличию ORM существенно ускоряется работа с БД: нет необходимости писать запросы непосредственно на SQL. Модель обеспечивает облегченный механизм доступа к слою данных, инкапсулирует бизнес-логику, в данном случае предоставляющую собой логику соотношения критериев протезных модулей. Архитектура веб-приложения представлена на *рис. 2*.

С целью обеспечения возможности пользования веб-приложением специалистами удаленно расположенных распределенных рабочих мест оно было развернуто на площадке Heroku – облачной PaaS-платформе, поддерживающей ряд языков программирования.

Для удобства использования электронной БД в приложении реализована функция автофильтра, сортировки и поиска моделей по типу модуля, к которому они относятся, шифру модели, ее названию, значениям признаков и подпризнаков одного или нескольких (расширенный фильтр) типов характеристик, отражающих основные критерии выбора модели протезного модуля пациенту, и дополнительных.

Просмотр всех характеристик модели организован на одной странице.

С целью ускорения и корректности наполнения электронной БД в приложении реализованы поля для ввода атрибутов модели и выпадающие списки для их выбора.

Результаты

Разработана пятиступенчатая иерархическая классификация, систематизирующая характеристики модулей протезов нижних конечностей, которые необходимо учитывать при комплектации модульного протеза.

В качестве примера описания различных типов модулей, согласно предложенной структуры классификации, в *табл. 2* приведены характеристики искусственной стопы. Данный пример демонстрирует тот большой объем информации, который необходимо учитывать при выборе пациенту модели всего лишь для одного типа модулей – искусственной стопы. Для описания других типов протезных модулей (коленных узлов, тазобедренных и пр.) в классификации применяются те же шесть типов характеристик, но с иным количеством и содержанием отражающих их признаков.

Созданное веб-приложение позволяет администратору и/или модератору добавлять, редактировать и удалять категории БД: модели протезных модулей (стоп, коленных узлов, тазобедренных узлов и т. п.) или часть их характеристик, признаков и подпризнаков – атрибутов, однозначно характеризующих модель в соответствии с разработанной классификацией (*рис. 3*).

Эти атрибуты предназначены для дальнейшего использования на этапе принятия решения по выбору моделей, организации режима поддержки принятия такого многокритериального решения, автоматизации построения модели выбора комплексующих протеза протезистом – пользователем приложения. Система правил принятия решения по выбору моделей представляет собой отдельную задачу и в данной работе не рассматривается.

В приложении также создана возможность добавлять, удалять и редактировать описание модели, излагаемое в текстовом формате, с иллюстрациями изображений модели в графическом формате. Описание не является частью классификации, и его содержание не учитывается при автоматизированном выборе моделей, но эта информация используется как дополнительная аргументация выбора модели для протезирования пациента или отказа от нее.

Модератором, наделенным правами добавления новых моделей протезных модулей в БД, может быть производитель или поставщик протезной продукции. Ответственность за правдивость информации о модели возлагается на модератора, который ее ввел. Контроль за соблюдением требований ввода информации атрибутов модели в БД выполняет администратор.

С целью обеспечения возможности использования веб-приложения специалистами удаленно расположенных распределенных рабочих мест оно было развернуто на площадке Heroku

Спортивный коленный модуль КХ06

Функциональные характеристики

Подкосустойчивость:	<input style="border: 1px solid black; padding: 2px; font-size: 0.8em; width: 100%; height: 1.2em;" type="button" value="Повышенная"/>	
Максимальный угол сгибания (градусы):	<input style="border: 1px solid black; padding: 2px; font-size: 0.8em; width: 100%; height: 1.2em;" type="button" value="160"/>	
Управление замковым устройством:	<input checked="" type="checkbox"/> Ручное запирание <input checked="" type="checkbox"/> Автоматическое запирание <input checked="" type="checkbox"/> Ручное отпирание <input checked="" type="checkbox"/> Автоматическое отпирание <input type="checkbox"/> Не выбрано	
Торможение под нагрузкой:	<input style="border: 1px solid black; padding: 2px; font-size: 0.8em; width: 100%; height: 1.2em;" type="button" value="Не выбрано"/>	
Амортизационное подгивание при переднем толчке:	<input style="border: 1px solid black; padding: 2px; font-size: 0.8em; width: 100%; height: 1.2em;" type="button" value="Реализуется"/>	
Управление фазами шага:	<input style="border: 1px solid black; padding: 2px; font-size: 0.8em; width: 100%; height: 1.2em;" type="button" value="Гидравлическое управление фазой опоры"/>	
Укорочение длины протеза в фазу переноса:	<input style="border: 1px solid black; padding: 2px; font-size: 0.8em; width: 100%; height: 1.2em;" type="button" value="Не выбрано"/>	
<input style="border: 1px solid black; background-color: #e0e0e0; padding: 5px; font-weight: bold;" type="button" value="Обновить"/>		

Рис. 3. Экранная форма добавления/редактирования характеристик модуля

– облачной PaaS-платформе, поддерживающей ряд языков программирования.

Заключение

Разработанная классификация характеристик модулей протезов нижних конечностей,ложенная в основу структуры глобальной БД с информацией об этой продукции, и веб-приложение, созданное для формирования и сопровождения такой БД, являются первым шагом в направлении технологии персонализированного многокритериального выбора комплектующих модульного протеза нижней конечности. Внедрение этих результатов в практику протезирования должно облегчить протезисту и пациенту получение информации о номенклатуре протезной продукции разных производителей, повысить рациональность назначения комплектующих протеза с учетом структурных нарушений и функциональных возможностей организма пациента и его личных потребностей, поднять уровень качества реабилитации инвалида.

Использование такой БД при комплектации изготавливаемого протеза предполагается различными пользователями на распределенных географически удаленных рабочих местах, зарегистрировавшимися на площадке и получившими права доступа к работе с веб-приложением.

Список литературы:

1. Smirnova L.M., Monakhova M.I., Yuldashev Z.M., Daminova E.A. Hardware and Software Complex for the Synthesis of Lower Limb Prostheses Using Unified Components / 2018 Third International Conference on Human Factors in Complex Technical Systems and Environments (ERGO) and Environments (ERGO). Saint Petersburg, Russia, 2018. PP. 185-188.
2. MOBIS The Ottobock mobility system [электронный ресурс] / <https://shop.ottobock.us/media/pdf/646A179-GB-04-1403w.pdf> (дата обращения: 03.01.2021).
3. Gailey R.S., Roach K.E., Applegate E.B. et al. The amputee mobility predictor: An instrument to assess determinants of the lower-limb amputee's ability to ambulate // Arch. Phys. Med. Rehabil. 2002. Vol. 83 (5). PP. 613-627.
4. Gailey R.S., Gaunaud I.A., Raya M.A. et al. Development and reliability testing of the Comprehensive High-Level Activity Mobility Predictor (CHAMP) in male servicemembers with traumatic lower-limb loss // Journal of Rehabilitation Research and Development. 2013. Vol. 50 (7). PP. 905-918.

5. Colombo G., Gabbiadini S., Regazzoni D., Rizzi C. Design procedure and rules to configure lower limb prosthesis / Proceedings of the ASME 2011 International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference. IDETC/CIE 2011. August 28-31, 2011. Washington, DC, USA. Paper № DETC2011-47651. PP. 673-681.
6. Forcier J., Bissex P., Chun W.J. Python web development with Django. – Crawfordsville, Indiana. USA: Pearson Education, Inc., 2008. 375 p.
7. Holovaty A., Kaplan J. The definitive guide to Django: Web development done right. – Moss. – New York. USA: Apress, 2009. 499 p.

Людмила Михайловна Смирнова,
д-р техн. наук, ведущ. научный сотрудник,
отдел биомеханических исследований
опорно-двигательной системы,
ФГБУ «Федеральный научный центр
реабилитации инвалидов им. Г.А. Альбрехта»
Минтруда России,
профессор,
кафедра биотехнических систем,
ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский
государственный электротехнический
университет «ЛЭТИ»
им. В.И. Ульянова (Ленина),
Константин Михайлович Макаров,
мл. научный сотрудник,
Евгений Александрович Скребенков,
отдел биомеханических исследований
опорно-двигательной системы,
ФГБУ «Федеральный научный центр
реабилитации инвалидов им. Г.А. Альбрехта»
Минтруда России,
г. С.-Петербург,
Марина Игоревна Монахова,
зам. коммерческого директора,
ФГУП «ЦИТО»,
г. Москва,
e-mail: info@diaserv.ru

A.B. Агапов, Г.В. Мицын

Методика динамического облучения для протонной радиотерапии

Аннотация

В Медико-техническом комплексе Объединенного института ядерных исследований (г. Дубна) разработана новая методика динамического облучения глубоко расположенных мишней сложной формы с использованием замедлителя переменной толщины и многолепесткового коллиматора. Устройства были сконструированы с учетом особенностей существующей системы формирования радиотерапевтического протонного пучка в комплексе. Предварительные результаты дозиметрической проверки показали лучшую степень конформности сформированных дозовых полей по сравнению со стандартной пассивной методикой трехмерной конформной терапии.

Введение

Главным принципом при проведении любой процедуры лучевого лечения является соблюдение предельной степени конформности облучения. Под конформностью понимается максимально возможное соответствие сформированного гомогенного дозового поля с предписанным объемом мишени облучения. Другими словами, метод должен обеспечить подведение максимальной дозы к опухоли и при этом минимизировать облучение здоровых прилегающих тканей.

В Медико-техническом комплексе (МТК) Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований на базе ускорителя фазotronа применяется высокоточная пассивная методика трехмерной конформной протонной радиотерапии [1]. Основными элементами установки для реализации этой методики являются: гребенчатый фильтр – модификатор протонного пучка, позволяющий расширять по глубине пик Брэгга в соответствии с продольным размером мишени; индивидуальный фигурный коллиматор, предназначенный для формирования поперечного профиля протонного