# Рекомендательная система диагностики сахарного диабета на основе механизма миварного вывода

# Евгений А. Белоусов1, Илья А. Попов1, Арсений А. Евдокимов1, Иван А. Ерохин1, Олег О. Варламов1,

1 Московский государственный технический университет им. Баумана, Москва, Россия  
ovar@narod.ru

**Аннотация (Abstract).** Сахарный диабет – одна из наиболее острых медико-социальных проблем современности. Наиболее часто встречается диабет 1-го и 2-го типов. Выявление заболевания на ранних стадиях способствует более мягкому течению болезни. Задача детектирования заболевания может и должна быть автоматизирована. Важным требованием к системе, автоматизирующей процесс установления диагноза, является вывод логической цепочки рассуждений, которая привела к данному решению. Поэтому использование нейронных сетей, являющихся моделью черный ящик, в такой системе – нежелательно. Миварный подход – направление искусственного интеллекта, которое включает в себя технологию накопления информации и технологию обработки информации. Системы на основе миварных сетей способны обрабатывать модели, состоящие более чем из 1 миллиона параметров и 3 миллионов правил. В работе представлена миварная модель диагностики сахарного диабета, созданная на основе клинических рекомендаций по сахарному диабету. Предполагается, что она может быть полезна врачам, не обладающим глубокими знаниями в области эндокринологии. Представленная модель состоит из 43 параметров и 26 правил. Также в работе приводится эксперимент, демонстрирующий работу системы и ее граф вывода.

**Ключевые слова (Keywords):** МИВАР, Миварный вывод, Логический вывод, Сахарный диабет.

# Введение

Термин “сахарный диабет” по определению Всемирной организации здравоохранения означает нарушение обмена веществ множественной этиологии, для которого характерна хроническая гипергликемия с нарушениями метаболизма углеводов, жиров и белков в результате нарушений секреции инсулина и/или действия инсулина [1].

Наиболее часто встречаются диабет второго (до 90% случаев) и диабет первого типов. Термин «сахарный диабет 2-го типа» относится к заболеванию, развивающемуся у лиц с избыточным накоплением жировой ткани, имеющих инсулинорезистентность (снижение чувствительности инсулинозависимых тканей к действию инсулина), вследствие чего наблюдается избыточный синтез проинсулина, инсулина и амилина бета-клетками поджелудочной железы, возникает так называемый «относительный дефицит» [2]. Термин «сахарный диабет 1-го типа» применяется к обозначению группы заболеваний, которые развиваются вследствие прогрессирующего разрушения бета-клеток поджелудочной железы, что приводит к дефициту синтеза проинсулина и гипергликемии, требует заместительной гормональной терапии. В отличие от сахарного диабета 2-го типа, характеризуется абсолютной (а не относительной) недостаточностью инсулина, вызванной деструкцией бета-клеток поджелудочной железы [3].

В [4] утверждается, что сахарный диабет является острейшей медико-социальной проблемой. Это обусловлено его высокой распространенностью, сохраняющейся тенденцией к росту числа больных, хроническим течением, определяющим кумулятивный характер заболевания, высокой инвалидизацией больных и необходимостью создания системы специализированной помощи. По данным статистических исследований, каждые 10—15 лет число людей, болеющих диабетом, удваивается [2], сахарный диабет входит в тройку заболеваний, после атеросклероза и рака, наиболее часто приводящих к инвалидизации населения и смерти [5]. По данным ВОЗ, сахарный диабет увеличивает смертность в 2-3 раза и значительно сокращает продолжительность жизни. Еще 20 лет назад количество людей с диагнозом «сахарный диабет» на нашей планете составляло менее 30 млн. Сегодня их число превышает 422 млн., согласно прогнозам, к 2030 году диабет станет седьмой ведущей причиной смерти в мире. Предполагается, что в последующие 10 лет общее число случаев смерти от диабета увеличится более чем на 50% [5]. Именно поэтому очень важно выявить наличие сахарного диабета на ранней стадии, чтобы иметь возможность еще на раннем этапе вернуть в норму уровень сахара в крови и избежать или значительно отсрочить развитие осложнений.

Самая эффективная диагностика диабета – анализ крови на глюкозу. Однако, если анализ крови, взятый натощак, показывает нормальный показатели уровня глюкозы, это ещё не значит, что человек здоров. Бывают и обратные случаи, когда повышенный уровень глюкозы в крови является следствием острой инфекции, травмы или стресса, и не свидетельствует о наличие сахарного диабета [6].

Когда имеются жалобы на состояние здоровья, пациенту назначают дополнительные тесты. В стране существует немало населённых пунктов, удалённых от медицинских учреждений, укомплектованных специалистами достаточной квалификации для учета всех особенностей диагностики заболевания. Поэтому для жителей, подверженных диабету, существуют риски развития болезни в более тяжёлую форму и возникновения осложнений.

# Существующие аналоги

В данный момент уже довольно активно исследуются различные методы для диагностики сахарного диабета, с применением как машинного, так и глубокого обучения. Довольно примечательна работа [7], где в качестве входных данных авторы взяли вариабельность сердечного ритма, считываемая с электрокардиограммы. Используя нейронную сеть на основе 5 последовательных слоев CNN (convolutional neural network), LSTM (long short-term memory) и SVM (support vector machine), на 71 датасете (каждый из которых содержал в себе 1000 образцов ЭКГ, собранных у 20 человек) получилось добиться точности диагностики до 95,7%, что является довольно высоким результатом, учитывая неинвазивность и скорость метода.

Исследователи из Канады предложили прогностическую модель, определяющую риск развития диабета, с использованием Градиентного Буситнга и Логистической Регрессии [8]. Для этой работы были отобраны данные более чем тринадцати тысяч канадских пациентов в возрасте от 18 до 90 лет.

По результатам исследования, модель на основе Градиентного Бустинга даёт 84.7% по показателю AUC и чувствительность в 71.6%, а Логистическая Регрессия – 84% AUC с чувствительностью в 73.4% [8].

# МИВАР

Миварный подход, как направление искусственного интеллекта, развивается уже больше четверти века. [9-12] На основе миварных сетей удалось создать программную модель, способную обрабатывать более 1 млн переменных и более 3 млн правил, не прибегая к использованию вычислительных машин мощнее обычных персональных компьютеров. Для миварных систем было теоретически обосновано, что сложность при вычислениях автоматического конструирования алгоритмов миварных сетей – линейная [13].

Миварный поход включает в себя следующие технологи:

Миварная технология накопления информации – метод создания баз данных и правил с динамически изменяемой структурой на основе трех основных понятий «вещь, свойство, отношение» [13].

Миварная технология обработки информации – метод создания логического вывода на основе миварной сети.

В 2015 году, с появлением программного комплекса КЭСМИ, создание миварных систем стало доступно широкому пользователю на бесплатной основе [14].

Двудольный граф может являться средством представления миварных сетей, то есть, она будет состоять из двух списков, которые и составят две непересекающихся доли графа, а именно: объекты-переменные и правила-процедуры. Так как данные формализмы идентичны и представляют собой вершины двудольного графа, их можно описать в формате файла XML, что и происходит в миварных сетях. [13]

Вывод миварной сети происходит в три основных этапа:

Формирование миварной матрицы описания предметной области. Этот этап требует непосредственного участия человека(эксперта), так как является достаточно сложным;

Работа с матрицей и конструирование алгоритма решения заданной задачи. Автоматическое формирование алгоритма или логический вывод;

По полученному алгоритму выполнение всех вычислений и нахождение ответа. По сути происходит решение задачи по этому алгоритму.

# Описание модели

В данной работе предлагается использовать технологию миварного вывода для диагностирования сахарного диабета 1-го и 2-го вида. Предполагается, что она является полезной для врачей, не обладающим глубокими знаниями в области эндокринологии.

Предложенная модель основывается на зависимостях, описанных в клинических рекомендациях по сахарному диабету [6], [15 – 17]. Главной особенностью данной модели является то, что она не просто определяет диагноз пациента по введенным в нее параметрам, а выводит логическую цепочку рассуждений, которая привела к данному результату. Таким образом, врач (пользователь системы) может посмотреть цепочку вывода, и в случае несогласия с ней на каком-либо этапе, принять другое решение. Авторы считают, что прозрачность системы в вопросах, связанных со здоровьем человека, является критически важной.

Модель работает со следующими входными параметрами:

* Наличие аутоантител сахарного диабета 1-го типа;
* Концентрация глюкозы в крови;
* Концентрация глюкозы в крови натощак;
* Концентрация глюкозы в плазме крови;
* Концентрация глюкозы в плазме крови натощак;
* Концентрация глюкозы во время проведения ОГТТ;
* Уровень гликированного гемоглобина в крови;
* Уровень С-пептида;
* Наличие перенесенной вирусной инфекции;
* Перегрузка легкоусвояемыми углеводами;
* Наличие родственников с сахарным диабетом 1-го типа;
* Наличие родственников с сахарным диабетом 2-го типа;
* Наличие перенесенного стресса;
* Жажда;
* Запах ацетона в выдыхаемом воздухе;
* Кандидоз;
* Кожный зуд;
* Плохое заживление ран;
* Повышенный аппетит;
* Резкое снижение массы тела;
* Учащенное мочеиспускание;
* Фурункулез;
* Вес;
* Рост;
* Пол;
* Возраст.

Некоторые параметры могут оставаться не заполненными, например, достаточно указать Концентрацию глюкозы в крови (моль/л) и не прибегать к применению более сложных анализов, таких как Уровень гликированного гемоглобина в крови. В случае, невозможности определить диагноз на основании введенных данных, система выдаст сообщение о недостаточном количестве данных.

После запуска миварного вывода, система пытается определить внутренние параметры, такие как:

* Наличие избытка массы тела;
* Нахождение пациента в середине пубертатного периода;
* Наличие классических симптомов сахарного диабета;
* Наличие клинической картины сахарного диабета 1-го типа;
* Наличие клинической картины сахарного диабета 2-го типа;
* Наличие критериев для установления сахарного диабета.

После чего, на их основании делается вывод о наличии у пациента сахарного диабета 1-го, 2-го типа или его отсутствии.

# Эксперимент

Был проведен следующий эксперимент:

Пациент с избыточным весом, с повышенной концентрацией глюкозы в плазме крови, повышенной глюкозе при проведении ОГТТ, испытывает повышенный аппетит и подвергался перегрузке легкоусвояемыми углеводами. При этом ожидалось получить ответ «Сахарный диабет 2-го типа».

Входные данные:

Анализ крови:

Концентрация глюкозы в плазме крови моль/л = 14;

Концентрация глюкозы ОГТТ моль/л = 12;

Отягощающие факторы:

Вирусная инфекция = нет;

Перегрузка углеводами = да;

Родственники СД1 = нет;

Родственники СД2 = да;

Стресс = нет;

Симптомы:

Жажда = нет;

Запах ацетона = нет;

Кандидоз = нет;

Кожный зуд = нет;

Плохое заживление ран = нет;

Повышенный аппетит = да;

Резкое снижение массы тела = нет;

Учащенное мочеиспускание = нет;

Фурункулез = нет;

Характеристики пациента:

Вес = 120;

Возраст = 25;

Пол = мужской;

Рост = 1,8;

Результат:

Сахарный диабет 2-го типа

Решение:

Шаг № 0

Правило: Если есть родственники с СД1 и/или если была перенесена вирусная инфекция и/или стресс и/или перенесена перегрузка легкоусвояемыми углеводами (любые два), то имеется клиническая картина СД1

Входные параметры:

Стресс=0;

Родственники СД1=0;

Перегрузка углеводами=1;

Вирусная инфекция=0;

Результат: Клиническая картина СД1=0;

Шаг № 1

Правило: Если уровень глюкозы >= 11,1 ммоль/л при проведении ОГТТ, то критерии установления СД

Входные параметры:

Концентрация глюкозы ОГТТ молль л=12;

Результат: Критерии установления СД=1;

Шаг № 2

Правило: Если критерии установления СД и клиническая картина СД1, то СД1

Входные параметры:

Критерии установления СД=1;

Клиническая картина СД1=0;

Результат: СД1=0;

Шаг № 3

Правило: Если пол женский и возраст от 9 до 16 или пол мужской и возраст от 11 до 19, то середина пубертатного возраста

Входные параметры:

Пол=мужской;

Возраст=25;

Результат: Середина пубертатного периода=0;

Шаг № 4

Правило: Если рост не соответствует росту, то наличие избытка массы тела

Входные параметры:

Рост=1.8;

Вес=120;

Возраст=25;

Результат: Избыток массы тела=1;

Шаг № 5

Правило: Если имеется избыток массы тела и/или родственники с СД2 и/или середина пубертатного возраста и/или возраст > 40 (любые два), то имеется клиническая картина СД2

Входные параметры:

Середина пубертатного периода=0;

Избыток массы тела=1;

Возраст=25;

Родственники СД2=1;

Результат: Клиническая картина СД2=1;

Шаг № 6

Правило: Если критерии установления СД и клиническая картина СД2, то СД2

Входные параметры:

Критерии установления СД=1;

Клиническая картина СД2=1;

Результат: СД2=1;

Шаг № 7

Правило: Если нет СД1 и нет СД2, то нет СД

Входные параметры:

СД1=0;

СД2=1;

Результат: Нет СД=0;

Шаг № 8

Правило: Определение названия диагноза

Входные параметры:

Нет СД=0;

СД1=0;

СД2=1;

Результат: Название диагноза = Сахарный диабет 2-го типа;

Граф решения:



Рис. 1. Эксперимент. Граф решения.

В результате проведения эксперимента, миварная модель на выходе выдает ожидаемый от нее результат, вследствие чего был сделан вывод о ее работоспособности.

Всего в модели используется 43 параметра и 26 правил.

# Выводы

Диагностика сахарного диабета – сложная задача, которую следует автоматизировать. Применение миварного вывода, позволяет получить всю цепочку решений, которая привела к результату.

В результате работы была создана и протестирована миварная модель области диагностики сахарного диабета.

# Список литературы

1. Евсеенко Ю.В. Сахарный диабет. Актуальность проблемы [Электронный ресурс] / Евсеенко Ю.В. // Могилевская городская больница скорой медицинской помощи. – Режим доступа: <https://www.mgbsmp.by/informatsiya/informatsiya-dlya-patsientov/543-sakharnyj-diabet-aktualnost-problemy>
2. *Астамирова Х.,*[*Ахманов М.*](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D1%85%D0%BC%D0%B0%D0%BD%D0%BE%D0%B2,_%D0%9C%D0%B8%D1%85%D0%B0%D0%B8%D0%BB) Большая энциклопедия диабетика. — М.: Эксмо, 2003. — 5 000 экз. — [ISBN 5-699-04606-2](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BB%D1%83%D0%B6%D0%B5%D0%B1%D0%BD%D0%B0%D1%8F:%D0%98%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%87%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B8_%D0%BA%D0%BD%D0%B8%D0%B3/5699046062).
3. Астамирова Х., Ахманов М. «Настольная книга диабетика», М., «Эксмо», 2000—2013
4. Демидова Т.Ю. Актуальные проблемы оптимизации и индивидуализации управления сахарным диабетом 2 типа / Демидова Т.Ю. // РМЖ. – 2009. – №10. – С.698-701.
5. Сахарный диабет – реальная угроза каждому [Электронный ресурс] // Гаврилов-Ямская центральная районная больница. Режим доступа: https://gavrilov-yam.zdrav76.ru/?p=793#:~:text=%D0%90%D0%BA%D1%82%D1%83%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C%20%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B1%D0%BB%D0%B5%D0%BC%D1%8B%20%D0%BE%D0%B1%D1%83%D1%81%D0%BB%D0%BE%D0%B2%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B0%20%D1%82%D0%B5%D0%BC%2C%20%D1%87%D1%82%D0%BE,%D0%B8%20
6. Клинические рекомендации Сахарный диабет 1 типа у взрослых; Общественная организация «Российская ассоциация эндокринологов». – 2019. – 167 с.
7. Swapna G. Diabets detection using deep learning algorithms / Swapna G., Vinayakumar R., Soman K.P. // ICT Express. – 2018. – №4. Pages 243-246.
8. *Hang Lai, Huaxiong Huang, Karim Keshavjee, Aziz Guergachi, Xin Gao* Predictive models for diabetes mellitus using machine learning techniques Lai et al. BMC Endocrine Disorders (2019) 19:101
9. Варламов О.О. Основы миварного подхода к созданию логического искусственного интеллекта: учеб. пособ. — М.: МАДИ, 2013. — 80 с.
10. Варламов О.О. Прикладная математика: гносеологические основы миварных технологий создания систем искусственного интеллекта: учеб. пособ. — М.: МАДИ, 2013. — 84 с.
11. Варламов О.О. Эволюционные базы данных и знаний для адаптивного синтеза интеллектуальных систем. Миварное информационное пространство. — М.: Радио и связь, 2002. — 288 с.
12. Варламов О.О., Чибирова М.О., Хадиев А.М., Антонов П.Д., Сергушин Г.С., Протопопова Д.А., Жданович Е.А., Збавитель П.Ю., Сараев Д.В., Шошев И.А., Петерсон А.О. Практикум по миварному моделированию и созданию экспертных систем (на примере программного комплекса «Конструктор экспертных систем МИВАР 1.1» (КЭСМИ 1.1). учеб. пособ. / под ред. О.О. Варламова. — М.: НИИ МИВАР, 2015. — 246 с.
13. Варламов О.О. Миварные технологии: переход от продукций к двудольным миварным сетям и практическая реализация автоматического конструктора алгоритмов, управляемого потоком входных данных и обрабатывающего более трех миллионов продукционных правил // Искусственный интеллект. 2012. № 4. С. 11–33
14. Варламов О.О. О создании миварных экспертных систем на основе «многомерной открытой гносеологической активной сети» MOGAN. Обзор практических примеров-2020.
15. Клинические рекомендации Сахарный диабет 2 типа у детей; Общественная организация «Российская ассоциация эндокринологов». – 2020. – 56с.
16. Клинические рекомендации Сахарный диабет 2 типа у взрослых; Общественная организация «Российская ассоциация эндокринологов». – 2019. – 228 с.
17. Федеральные клинические рекомендации по диагностике и лечению сахарного диабета 1 типа у детей и подростков; Российское общество детских эндокринологов. –2013. –36 с.