

Аппаратно-программный комплекс для удаленного мониторинга и контроля состояния беременных женщин

И. П. Корнеева^а, магистрант, инженер, orcid.org/0000-0002-7587-5317

К. А. Крамарь^а, магистрант, orcid.org/0000-0002-0122-9005

Е. А. Семенова^а, канд. техн. наук, доцент, orcid.org/0000-0001-5608-3544

А. М. Сергеев^б, канд. техн. наук, доцент, orcid.org/0000-0002-4788-9869

З. М. Юлдашев^а, доктор техн. наук, профессор, orcid.org/0000-0003-1075-3420, zmyuldashev@etu.ru

^аСанкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ», Профессора Попова ул., 5, Санкт-Петербург, 197376, РФ

^бСанкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, Б. Морская ул., 67, Санкт-Петербург, 190000, РФ

Введение: проблема удаленного мониторинга состояния здоровья людей стала особенно актуальной в настоящее время в связи с быстрым распространением опасных инфекционных и вирусных заболеваний, таких как COVID-19. Особенно сложным этот период оказался для беременных женщин. По статистике Росстата, в 2020 году материнская смертность в России возросла на 24,4 % по сравнению с 2019 годом и достигла 11,2 на 100 000 новорожденных детей. Это худший показатель с 2013 года. В сложившихся условиях появилась потребность в системах удаленного мониторинга, которые позволили бы дистанционно, с использованием инструментальных средств вне лечебного учреждения, осуществлять мониторинг состояния здоровья беременной женщины. **Цель:** разработка структуры и обоснование выбора элементов аппаратно-программного комплекса для удаленного мониторинга вне лечебного учреждения и контроля состояния беременной женщины в условиях активной жизнедеятельности. **Результаты:** разработан автоматизированный опросник беременной женщины в соответствии с методическими рекомендациями Министерства здравоохранения РФ, обеспечивающий количественную оценку текущего состояния беременной женщины для изучения динамики состояния ее здоровья. На основании результатов инструментальных исследований по 30 показателям функционирования организма пациентки и данных опросника сформирован набор диагностически значимых показателей, для каждого из которых установлен диапазон значений нормы, тревоги и патологии. Разработан экспериментальный образец аппаратно-программного комплекса и проведена апробация его работы, режимов съема биомедицинских данных по каналу оценки комплекса биохимических показателей мочи. Проведены экспериментальные исследования алгоритмов обработки и анализа совокупности биомедицинских данных, результаты которых подтвердили правомерность предложенных решений по разработке аппаратно-программного комплекса. **Практическая значимость:** результаты проведенных исследований позволяют утвердительно ответить на вопрос о возможности удаленного мониторинга вне лечебного учреждения и контроля состояния здоровья беременной женщины в целях прогнозирования осложнения течения беременности, обосновать выбор измерительных каналов для регистрации комплекса биомедицинских сигналов и данных, алгоритмов обработки и анализа информации.

Ключевые слова – инструментальные методы, обработка биомедицинских сигналов и данных, оценка текущего состояния, удаленный мониторинг и контроль, состояние, беременные женщины.

Для цитирования: Корнеева И. П., Крамарь К. А., Семенова Е. А., Сергеев А. М., Юлдашев З. М. Аппаратно-программный комплекс для удаленного мониторинга и контроля состояния беременных женщин. *Информационно-управляющие системы*, 2021, № 6, с. 21–30. doi:10.31799/1684-8853-2021-6-21-30

For citation: Korneeva I. P., Kramar K. A., Semenova E. A., Sergeev A. M., Yuldashev Z. M. Hardware and software complex for remote monitoring and control of a pregnant woman's health state. *Informatsionno-upravliaiushchie sistemy* [Information and Control Systems], 2021, no. 6, pp. 21–30 (In Russian). doi:10.31799/1684-8853-2021-6-21-30

Введение

Проблема удаленного мониторинга состояния здоровья людей стала особенно актуальной в настоящее время, в том числе в связи с быстрым распространением опасных инфекционных и вирусных заболеваний, таких как COVID-19 [1, 2]. Многие больницы были перепрофилированы для спасения пациентов с новой коронавирусной инфекцией, часть из них была закрыта на карантин. Некоторые лечебные учреждения не справлялись с возросшей нагрузкой и не могли обеспечить оказание своевременной медицинской помо-

щи всем пациентам. Люди, которым требовался постоянный медицинский контроль, пропускали плановое посещение медицинских учреждений из-за необходимости соблюдать полную изоляцию. В таких условиях беременные женщины были вынуждены сократить количество посещений акушера-гинеколога в дородовой период, что не могло не отразиться на случаях пропуска осложнений у женщины и ребенка. По статистике Росстата, в 2020 году материнская смертность в России возросла на 24,4 % по сравнению с 2019 годом и достигла 11,2 на 100 000 новорожденных детей, это самый худший показатель

с 2013 года. В сложившихся условиях появилась потребность в системах удаленного мониторинга, которые позволили бы с использованием инструментальных средств вне лечебного учреждения осуществлять мониторинг состояния здоровья беременной женщины, прогнозировать возникновение осложнений течения беременности и своевременно извещать врача об ухудшении состояния здоровья беременной [3–5].

Проблема удаленного мониторинга сегодня успешно решается с применением информационно-телекоммуникационных технологий, технологий цифровой медицины [6, 7], методов съема и регистрации биомедицинских сигналов вне лечебного учреждения в условиях повседневной деятельности человека [8–14], оценки комплекса диагностически значимых показателей, интеллектуальной обработки полученных данных [15, 16]. Однако в настоящее время отсутствуют методы удаленной комплексной оценки состояния здоровья беременной женщины и прогнозирования осложнения течения беременности с использованием современных информационных технологий и искусственного интеллекта. В статье предлагается один из путей разрешения данного положения.

Методика оценки текущего состояния, мониторинга и контроля состояния беременной женщины

Предлагаемый подход для реализации удаленного мониторинга и контроля состояния здоровья беременной женщины основан:

- на периодическом съеме и регистрации биомедицинских сигналов и данных вне лечебного учреждения;

- на оценке текущего состояния беременной женщины по нескольким группам диагностически значимых показателей, отражающих состояние сердечно-сосудистой, дыхательной и эндокринной системы, а также по группе биохимических показателей и маркеров специфических осложнений беременности [16–19].

В дополнение к инструментальным обследованиям, направленным на сбор данных о диагностически значимых показателях, оценка текущего состояния здоровья беременной женщины проводится на основании автоматизированного опросника, разработанного в соответствии с методическими рекомендациями Министерства здравоохранения РФ (Приказ МЗ РФ от 20.10.2020 № 1130н «Об утверждении Порядка оказания медицинской помощи по профилю «акушерство и гинекология»).

При проведении процедуры мониторинга используется адаптивная дискретизация [20], суть которой состоит в изменении периодичности сбора данных и последующей оценке состояния на ос-

нове анализа динамики комплекса диагностически значимых показателей состояния здоровья, а также сочетанного проявления признаков осложнения течения беременности. Как только какой-либо из мониторируемых показателей достигает границы нормы, его необходимо тщательно отслеживать и сократить промежутки времени между последовательными измерениями. Например, если анализ проводится раз в неделю, то при возникновении подозрения на патологию периодичность анализа может быть снижена до ежедневной.

Алгоритмы обработки полученных данных и последующей оценки текущего состояния и контроля динамики состояния беременной женщины основаны на использовании технологии распределенных вычислений, часть из которых выполняется на носимом компьютере (смартфоне) беременной женщины, который является агрегатором регистрируемых с пациентки биомедицинских сигналов и осуществляет структурирование информации и ее передачу на сервер лечебного учреждения. Вторая часть вычислений, связанная с оценкой текущего состояния пациентки, мониторингом и контролем состояния здоровья, и прогнозирование осложнения течения беременности выполняются на сервере лечебного учреждения, а результаты передаются на носимый компьютер лечащего врача.

На протяжении всего исследования диагностически значимые показатели делятся на группы по степени значимости. Для каждого из показателей определяется зона нормы, зона тревоги и зона патологии в соответствии с медицинскими стандартами. В дальнейшем диапазон значений по каждому показателю по результатам длительного мониторинга уточняется в соответствии с индивидуальной нормой пациентки. При оценке текущего состояния и контроле динамики все диагностически значимые показатели классифицируются по трем группам: находящиеся в норме; находящиеся на нижней или верхней границе нормы; выходящие за границы нормы. При формировании отчета о проведенном исследовании показатели помечаются зеленым, желтым и красным цветом соответственно. Лечащему врачу в первую очередь предоставляются сведения о показателях, имеющих приоритетную значимость и при этом вышедших за границы нормы или требующих более пристального внимания.

Структура аппаратно-программного комплекса для удаленного мониторинга и контроля состояния беременной женщины

Предлагаемая обобщенная структура аппаратно-программного комплекса для удаленного мониторинга и контроля состояния беремен-

ной женщины (рис. 1) состоит из нескольких уровней.

На первом уровне проводится съем и регистрация биомедицинских сигналов и данных вне лечебного учреждения, обеспечивающих комплексную оценку текущего состояния организма на принципах системной медицины. При этом осуществляется сбор данных о более 30 показателях, среди которых показатели функционирования различных систем организма, таких как сердечно-сосудистая, эндокринная, дыхательная, а также данные биохимических исследований, отражающие динамику биохимических показателей мочи и свертываемости крови. На данном этапе становится возможным выявление индивидуальных особенностей функционирования организма на всех этапах беременности при сочетанном проявлении различных хронических заболеваний и воздействии внешних возбудителей.

Важным условием при выборе измерительных каналов является их соответствие стандартам оснащения в области акушерства и гинекологии, закрепленным в приказе Минздрава России (Приказ МЗ РФ от 20.10.2020 № 1130н «Об утверждении Порядка оказания медицинской помощи по профилю «акушерство и гинекология»), а также наличие сертификата о государственной регистрации медицинского изделия на территории РФ. В соответствии с требованиями в качестве измерительных каналов для аппаратно-программного комплекса выбраны портативные биохимические анализаторы мочи и свертываемости крови; портативные кардиомонитор, спирометр, глюкометр; автоматический тонометр.

Использование данных приборов в совокупности позволяет обеспечить мониторинг и кон-

троль состояния здоровья беременной женщины по всем необходимым показателям. Полученные биомедицинские сигналы и данные передаются через канал Bluetooth на второй уровень аппаратно-программного комплекса, представленный носимым компьютером пациентки, в качестве которого используется высокопроизводительный смартфон или планшет.

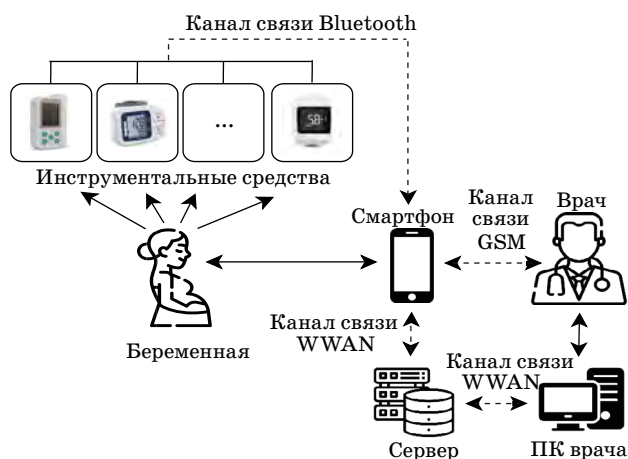
На втором уровне осуществляется структурирование информации о текущем состоянии здоровья беременной женщины с учетом степени диагностической значимости показателей, коррекция показателей индивидуальной нормы, учет сочетанного проявления нескольких факторов обострения заболевания, а также составляется формализованное описание состояния здоровья беременной женщины на основании комплекса диагностически значимых показателей. При необходимости проводится предобработка биосигналов, полученных с измерительных каналов. Здесь же происходит разбиение комплекса диагностически значимых показателей на группы по степени значимости.

После завершения обработки полученной информации формируется отчет, отражающий текущее значение диагностически значимых показателей пациентки с указанием зоны расположения (норма, тревога, патология), и передается по каналу связи через WWAN на сервер лечебного учреждения.

На сервере лечебного учреждения, выступающего в роли третьего уровня комплекса, осуществляется обработка полученной информации, а также определяются критерии, позволяющие прогнозировать предболезненное состояние и состояние осложнения течения беременности, при этом учитывается сочетание влияния факторов, усугубляющих осложнение ее течения. При ограниченном контингенте пользователей третий уровень может быть представлен компьютером лечащего врача. Итоговый отчет с рекомендациями вариантов коррекции состояния, при необходимости, передается на персональный компьютер врача, являющийся четвертым, завершающим уровнем комплекса.

Автоматизированный опросник для оценки состояния беременной женщины

В медицинской практике возможны случаи, когда результаты инструментального обследования не позволяют выявить состояния, угрожающие жизни и здоровью беременной женщины, хотя она обращает внимание врача на ощущение дискомфорта. Для исключения неопределенности в таких случаях врач пытается оценить



■ **Рис. 1.** Обобщенная структура аппаратно-программного комплекса удаленного мониторинга и контроля состояния беременной женщины

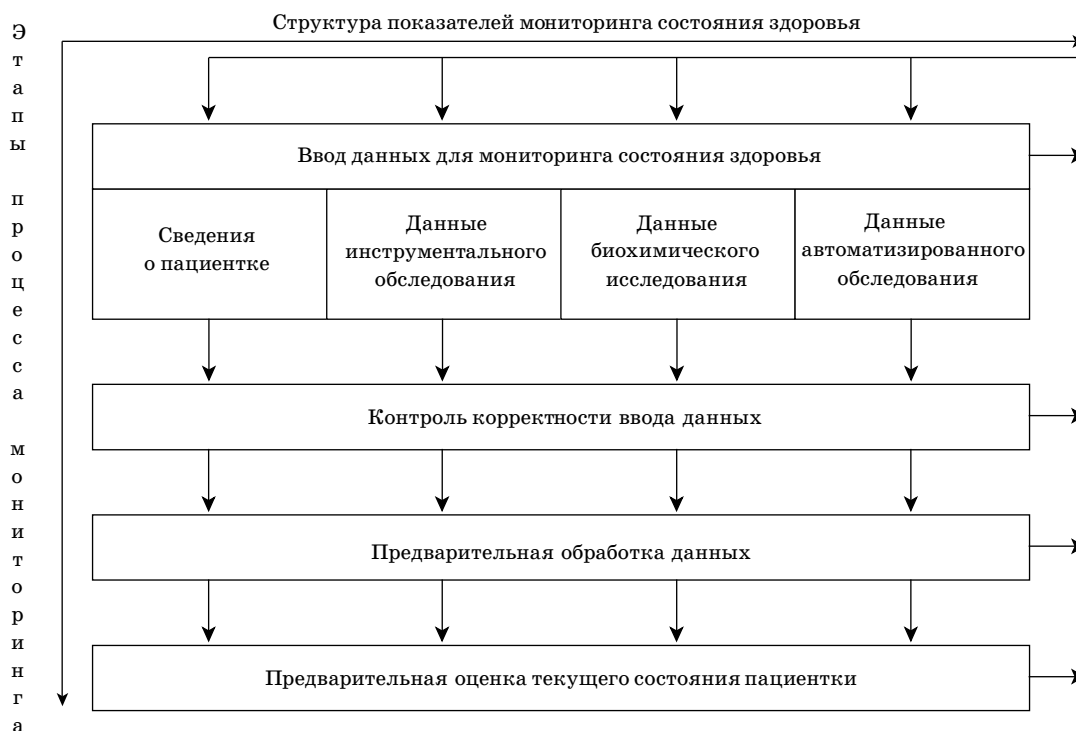
■ **Fig. 1.** Generalized structure of the hardware and software complex for remote monitoring and control of a pregnant woman's health state

субъективные ощущения состояния беременной. Для ускорения и облегчения процесса сбора данных, а также количественной оценки динамики состояния беременной предлагается использовать автоматизированный опросник. Автоматизированный опросник — программное обеспечение, устанавливаемое на смартфон беременной (рис. 2).

Блок ввода данных для мониторинга состояния здоровья состоит из четырех подблоков. Сведения о пациентке вводятся в программу единожды при регистрации и включают в себя персональные данные женщины, акушерский, гинекологический, семейный анамнез и анамнез жизни. Данные инструментального обследования и биохимического исследования заполняются беременной женщиной по мере проведения исследований. Исследования проводятся по комплексу биохимических показателей, показателей системы дыхания, сердечно-сосудистой, эндокринной и других систем организма. Данные автоматизированного обследования включают в себя вопросы об общем состоянии беременной женщины и о диагностически значимых признаках, которые невозможно оценить количественно. Полученные ответы позволяют врачу оценить субъективное состояние беременной, которое является важным диагностическим признаком ряда заболеваний, поскольку в некоторых случа-

ях невозможно зафиксировать наличие патологии с помощью имеющихся инструментальных средств. Далее производится контроль корректности введенных данных и их предварительная обработка для последующей оценки состояния здоровья беременной женщины.

Полученные данные представляют собой комплекс диагностически значимых показателей. Для получения интегральной оценки состояния здоровья беременной женщины необходимо оценить значимость каждого из используемых показателей. Для этого был выбран метод анализа иерархий [21]. Метод заключается в иерархическом представлении элементов, определяющих суть проблемы. Происходит декомпозиция проблемы на более простые составляющие части и дальнейшая обработка получившейся последовательности суждений по парным сравнениям лицом, являющимся специалистом по профилю «акушерство и гинекология». В результате в численном виде выражается относительная интенсивность взаимодействия элементов в иерархии, т. е. указывается влияние каждого из факторов на суть проблемы. Выбранный метод обладает высокой универсальностью, прост в использовании и требует глубокого включения экспертов в решение задачи, что снижает вероятность возникновения ошибок при использовании данного метода.



■ Рис. 2. Структура показателей и этапы процесса мониторинга

■ Fig. 2. Structure of indicators and stages of the monitoring process

- Таблица 1. Веса первого уровня иерархии показателей при ОС = 0,02
- Table 1. Weights of the first level of the hierarchy of indicators for consistency relation 0.02

Первый уровень	Шевеления плода	Физиологические показатели	Болевой синдром	Тошнота и рвота	Патологические выделения	Вес
Шевеления плода	1	3	1	3	1	0,27
Физиологические показатели	1/3	1	1/3	3	1/3	0,12
Болевой синдром	1	3	1	5	1	0,29
Тошнота и рвота	1/3	1/3	1/5	1	1/3	0,06
Патологические выделения	1	3	1	3	1	0,26

Алгоритм расчета весовых коэффициентов с использованием метода анализа иерархий:

1. Формирование иерархии целей, вершиной которой является цель, которую необходимо достичь, или суть проблемы. На последующих уровнях представлены критерии, непосредственно влияющие на достижение цели.
2. Парное сравнение критериев по важности, для которого используется шкала относительной важности критериев.

3. Расчет локальных векторов приоритетов — уже можно сделать вывод о том, какой из критериев является наиболее значимым.

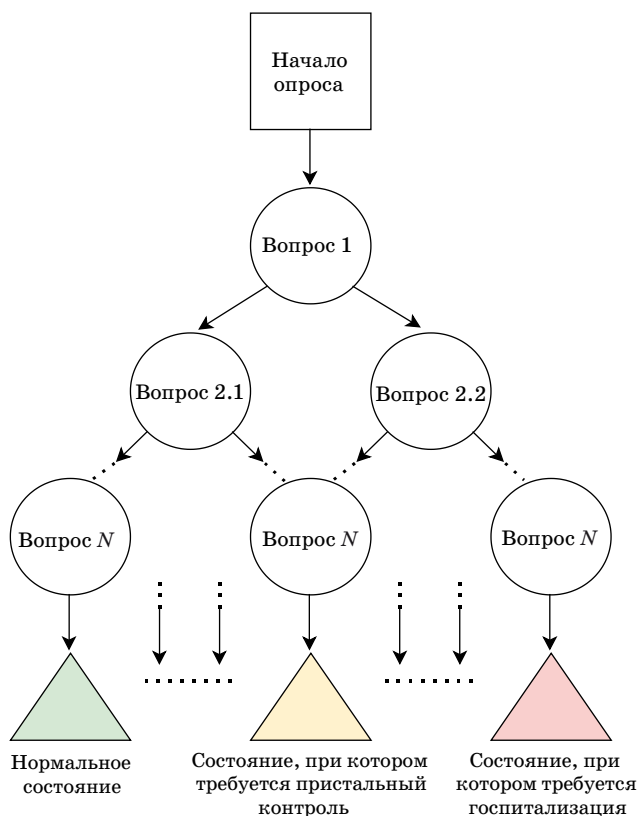
4. Проверка согласованности локальных приоритетов, для чего рассчитывается отношение согласованности (ОС). В случае, если $ОС > 0,1$, утверждают, что суждения эксперта, на основании которых заполнялась матрица, являются рассогласованными, а значит, следует заполнить матрицу заново. Иначе суждения эксперта принимаются.

Таким образом, возможно рассчитать весовые коэффициенты каждого из критериев и оценить их влияние на исходную цель.

По описанной методике были рассчитаны веса первого уровня иерархии диагностически значимых показателей (табл. 1).

Полученные значения весовых коэффициентов используются в алгоритме интегральной оценки состояния здоровья беременной женщины.

Обобщенный алгоритм поддержки принятия решений (рис. 3) состоит из вопросов нескольких уровней. Каждый из вопросов может иметь n -е количество ответов. Исходя из полученных ответов, система будет классифицировать текущее состояние здоровья беременной как «нормальное», «состояние, при котором требуется пристальный контроль» или «состояние, при котором требуется госпитализация».



■ Рис. 3. Обобщенный алгоритм поддержки принятия решений
 ■ Fig. 3. Generalized decision support algorithm

Пример экспериментальной апробации измерительного канала аппаратно-программного комплекса

Для экспериментальной апробации был выбран измерительный канал, осуществляющий сбор данных о динамике биохимических показателей мочи. На рынке представлено множество портативных биохимических анализаторов, позволяющих проводить общий анализ мочи в домашних условиях. Для апробации и последую-

щего включения в аппаратно-программный комплекс был выбран портативный анализатор с возможностью оценки состояния здоровья пациента на основании комплекса из 11 показателей:

- 1) глюкоза (GLU);
- 2) билирубин (BIL);
- 3) относительная плотность (SG);
- 4) pH;
- 5) кетоновые тела (KET);
- 6) скрытая кровь (BLD);
- 7) белок (PRO);
- 8) уробилиноген (URO);
- 9) нитриты (NIT);
- 10) лейкоциты (LEU);
- 11) аскорбиновая кислота (VC).

Для исследования эффективности работы прибора, а также для оценки точности получаемых результатов (в сравнении с лабораторным анализом) и целесообразности включения прибора в систему удаленного мониторинга в течение месяца проводились ежедневные исследования мочи здорового человека (табл. 2).

На основании сводных данных за месяц (рис. 4) можно выявить некоторые закономерности в состоянии здоровья пациента. Например, видно, что уровни таких показателей, как уробилиноген, кетоны, глюкоза, аскорбиновая кислота и нитраты оставались близкими к нулю на протяжении всего времени исследования. В то же время наблюдается скачок таких показателей, как билирубин, скрытая кровь, белок, относительная плотность и pH мочи. Скачки наблюдаются в течение пяти дней, что соответствует периоду критических дней у испытуемой. После завершения этого периода показатели возвращаются

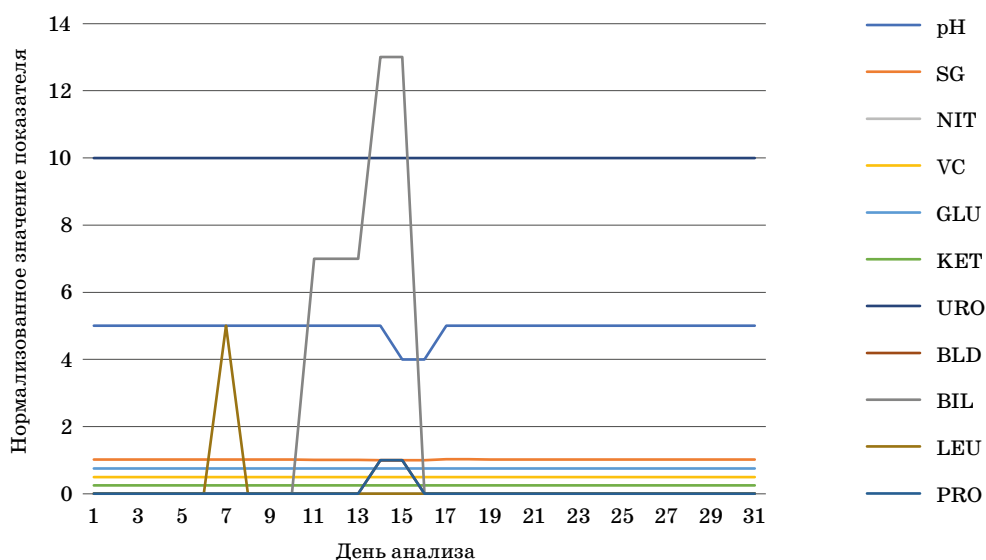
■ Таблица 2. Пример результатов анализа мочи

■ Table 2. Example of results of urine analysis

Показатель	Значение
Уробилиноген	< 16 мкмоль/л
Скрытая кровь	Отрицательное
Билирубин	Отрицательное
Кетоны	0 ммоль/л
Лейкоциты	0
Глюкоза	Отрицательное
Белок	Отрицательное
pH	5
Нитраты	Отрицательное
Относительная плотность	1,020
Аскорбиновая кислота	Отрицательное

в пределы нормы до конца исследования. Также наблюдается однодневный скачок в количестве лейкоцитов, что соответствует периоду восстановления после введения испытуемой вакцины против COVID-19 днем ранее.

Для понимания степени точности отдельного исследования параллельно был проведен анализ мочи испытуемой в лабораторной службе (табл. 3).



■ Рис. 4. Изменение биохимических показателей мочи

■ Fig. 4. Changes in the biochemical parameters of urine

■ **Таблица 3.** Сравнительный анализ биохимических показателей мочи

■ **Table 3.** Comparative analysis of biochemical parameters of urine

Показатель	Портативный анализатор	Лабораторный анализ
Уробилиноген	< 16 мкмоль/л	10,7 мкмоль/л
Скрытая кровь	Отрицательное	Отрицательное
Билирубин	Отрицательное	Отрицательное
Кетоны	0 ммоль/л	0,35 ммоль/л
Лейкоциты	0	1
Глюкоза	Отрицательное	Отрицательное
Белок	Отрицательное	Отрицательное
pH	5	4,9
Нитраты	Отрицательное	Отрицательное
Относительная плотность	1,020	1,012
Аскорбиновая кислота	Отрицательное	Отрицательное

Сравнение результатов, полученных с помощью портативного анализатора и стационарного анализатора в лабораторной службе, позволяет выявить различия в трех показателях: уробилиноген, лейкоциты и кетоны. Однако различия в них незначительны и не влияют на общую интерпретацию результатов анализа. Следовательно, диагностика с помощью исследуемого анализатора обеспечивает точность, сравнимую с лабораторным анализом.

Заключение

Проблема удаленного мониторинга состояния здоровья людей стала особенно актуальной в настоящее время в связи с множеством факторов, в том числе с распространением опасных

вирусных заболеваний. Особенно изменившиеся условия жизни и оказания медицинской помощи отразились на беременных женщинах, сильно увеличив уровень смертности среди последних. Результатом проведенного исследования является обобщенная структура аппаратно-программного комплекса, который позволит следить за состоянием беременной женщины удаленно, не снижая при этом качество наблюдения и оказания медицинской помощи. Проведена апробация одного из измерительных каналов аппаратно-программного комплекса и доказана его эффективность в условиях удаленного наблюдения. Результаты исследования использованы при разработке экспериментального макета аппаратно-программного комплекса для мониторинга и контроля состояния беременной женщины.

Литература

1. Wurzer D., Spielhagen P., Siegmann A., et al. Remote monitoring of COVID-19 positive high-risk patients in domestic isolation: A feasibility study. *PLOS One*, 2021, vol. 16(9), e0257095. doi:10.1371/journal.pone.0257095
2. Taiwo O., Ezugwu A. Smart healthcare support for remote patient monitoring during Covid-19 quarantine. *Informatics in Medicine Unlocked*, 2020, vol. 20, 100428. doi:10.1016/j.imu.2020.100428
3. Kakria P., Tripathi N. K., Kitipawang P. A real-time health monitoring system for remote cardiac patients

using smartphone and wearable sensors. *Int. J. Telemed. Appl.*, 2015, 373474. doi:10.1155/2015/373474

4. Kalid N., Zaidan A. A., Bahaa B., Salman O. Based real time remote health monitoring systems: A review on patients prioritization and related "Big Data" using body sensors information and communication technology. *Journal of Medical Systems*, 2017, vol. 42, iss. 2, Article 30. doi:10.1007/s10916-017-0883-4
5. Mohammed K. I., Zaidan A. A., Zaidan B. B., Albahri O. S. & Hashim M., Alsalem M. A., Albahri A. S., Hadi Ali. Real-time remote-health monitoring systems: A review on patients prioritisation for multi-

- ple-chronic diseases, taxonomy analysis, concerns and solution procedure. *Journal of Medical Systems*, 2019, vol. 43, Article 223. doi:10.1007/s10916-019-1362-x
6. **Yuldashev Z. M., Magrupov T. M.** Systems and technologies for remote health state monitoring of patients with chronic diseases. *International Conference on Information Science and Communications Technologies (ICISCT)*, IEEE, 2020, pp. 1–6. doi:10.1109/ICISCT50599.2020.9351387
 7. **Ryu D., Kim D. H., Price J. T., Jong J. Y., et al.** Comprehensive pregnancy monitoring with a network of wireless, soft, and flexible sensors in high- and low-resource health settings. *PNAS*, 2021, vol. 118, no. 20, e2100466118. doi:10.1073/pnas.2100466118
 8. **Pustozarov E. A., Yuldashev Z. M., Popova P. V., Bolotko Y. A., Tkachuk A. S.** Information support system for patients with gestational diabetes mellitus. *Biomedical Engineering*, 2018, vol. 51, no. 6, pp. 407–410. doi:10.1007/s10527-018-9759-2
 9. **Peterson A., Arendt K. W., Sharpe E.** Management of supraventricular tachycardia in pregnancy. *Pain Medicine*, 2020, vol. 21, iss. 2, pp. 426–428. doi:10.1093/pm/pnz330
 10. **Noben L., Westerhuis M. E. M. H., van O Laar J., Kok R. D., et al.** Feasibility of non-invasive Foetal electrocardiography in a twin pregnancy. *BMC Pregnancy and Childbirth*, 2020, vol. 20, Article 215. doi:10.1186/s12884-020-02918-8
 11. **Yuldashev Z. M., Sergeev A. M., Nastueva N. S.** Perspectives for the use of the internet of things in portable online cardiac monitors. *Biomedical Engineering*, 2021, vol. 55, iss. 2, pp. 201–214. doi:10.1007/s10527-021-10102-1
 12. **Luo F. Y., Chadha R., Osborne C., Kealey A.** Arrhythmogenic right ventricular cardiomyopathy (ARVC) in pregnancy: a case series of nine patients and review of literature. *The Journal of Maternal-Fetal & Neonatal Medicine*, 2020. doi:10.1080/14767058.2020.1745176
 13. **Raut R., Dikshit-Ratnaparkhi A., Bormane D.** Development of algorithm for extraction of fetal from maternal ECG on benchmark. *Database and Prototype Development for Acquisition*, IEEE, 2020. doi:10.1109/ICCMC48092.2020.ICCMC-00059
 14. **Evans J., Papadopoulos A., Silvers C., Charness N., Boot W., Fairchild L., et al.** Remote health monitoring for older adults and those with heart failure: Adherence and system usability. *Telemed J E-Health*, 2016, vol. 22, iss. 6, pp. 480–488. doi:10.1089/tmj.2015.0140
 15. **Yuldashev Z., Sergeev A., Nastueva N.** IoMT technology as the basis of wearable online monitors for space distributed monitoring systems for pregnant women. *Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems (WECONF 2021)*, Conference Proceedings, 2021, Article 9470556.
 16. **Iranpak S., Shahbahrani A., Shakeri H.** Remote patient monitoring and classifying using the internet of things platform combined with cloud computing. *Journal of Big Data*, 2021, vol. 8, Article 120. doi:10.1186/s40537-021-00507-w
 17. **María Luz Morales-Botello, Diego Gachet, Manuel de Buenaga, Fernando Aparicio, María J Busto, Juan Ramón Ascanio.** Chronic patient remote monitoring through the application of big data and internet of things. *Health Informatics Journal*, 2021. doi:10.1177/14604582211030956
 18. **Whittington J. R., Magann E. F.** Telemedicine in high-risk obstetrics. *Obstetrics and Gynecology Clinics of North America*, 2020, vol. 47, no. 2, pp. 249–257. doi:10.1016/j.ogc.2020.02.007
 19. **van den Heuvel J. F. M., Teunis C. J., Franx A., Crombag N. M. T. H. & Bekker M. N.** Home-based telemonitoring versus hospital admission in high risk pregnancies: a qualitative study on women's experiences. *BMC Pregnancy Childbirth*, 2020, vol. 20, no. 77. doi:10.1186/s12884-020-2779-4
 20. **Bocca B., et al.** Human biomonitoring to evaluate exposure to toxic and essential trace elements during pregnancy. Part A. Concentrations in maternal blood, urine and cord blood. *Environmental Research*, 2019, vol. 177, p. 108599. doi:10.1016/j.envres.2019.108599
 21. **Alessia Gloria, Maria Cristina Veronesi, Rita Carluccio, Salvatore Parrillo, Ippolito De Amicis, Alberto Contri.** Biochemical blood analysis along pregnancy in Martina Franca jennies. *Theriogenology*, 2018, vol. 115, pp. 84–89. doi:10.1016/j.theriogenology.2018.04.026

UDC 681.518.3; 615.47:616-072.7
doi:10.31799/1684-8853-2021-6-21-30

Hardware and software complex for remote monitoring and control of a pregnant woman's health state

I. P. Korneeva^a, Master Student, Engineer, orcid.org/0000-0002-7587-5317

K. A. Kramar^a, Master Student, orcid.org/0000-0002-0122-9005

E. A. Semenova^a, PhD, Tech., Associate Professor, orcid.org/0000-0001-5608-3544

A. M. Sergeev^b, PhD, Tech., Associate Professor, orcid.org/0000-0002-4788-9869

Z. M. Yuldashev^a, Dr. Sc., Tech., Professor, orcid.org/0000-0003-1075-3420, zmyuldashev@etu.ru

^aSaint-Petersburg Electrotechnical University «LETI», 5, Prof. Popov St., 197376, Saint-Petersburg, Russian Federation

^bSaint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, 67, B. Morskaya St., 190000, Saint-Petersburg, Russian Federation

Introduction: The problem of remote monitoring of people's health has become especially urgent nowadays due to the rapid spread of dangerous infectious and viral diseases, such as COVID-19. This period was especially difficult for pregnant women. According to Rosstat statistics, in 2020, maternal mortality in Russia increased by 24.4% compared to 2019 and reached 11.2 per 100,000 newborns. This is the worst level since 2013. In the current conditions, there is a necessity for developing remote monitoring systems which allow you to check the health status of a pregnant woman remotely using tools outside a medical institution. **Purpose:** To develop the structure and validate the choice of elements for a hardware and software complex which would perform remote monitoring outside a medical institution and assess the condition of pregnant women during their active life. **Results:** An automated questionnaire for pregnant women has been developed in accordance with the methodological recommendations of the Ministry of Health of the Russian Federation, providing a quantitative assessment of the current state of a pregnant woman in order to study the dynamics of her health. Based on the results of instrumental studies, according to 30 factors of patient's body functioning and the questionnaire data, a set of diagnostically significant indicators was developed. For each of them, a range of values was specified (norm, alarm, pathology). We have developed an experimental sample of the hardware and software complex and tested its functioning, particularly the modes of taking biomedical data by urine tests. The algorithms for processing and analysis of biomedical data have been experimentally studied in order to confirm the validity of the proposed solutions. **Practical relevance:** The results of the studies allow us to affirmatively answer the question about the possibility of remote monitoring outside a medical institution and assessing the health state of a pregnant woman in order to predict pregnancy complications, as well as to validate the choice of measuring channels for recording a complex of biomedical signals and data, and the choice of algorithms for information processing and analysis.

Keywords — instrumental methods, processing of biomedical signals and data, assessment of the current state, remote monitoring and control, condition, pregnant women.

For citation: Korneeva I. P., Kramar K. A., Semenova E. A., Sergeev A. M., Yuldashev Z. M. Hardware and software complex for remote monitoring and control of a pregnant woman's health state. *Informatsionno-upravlyaiushchie sistemy* [Information and Control Systems], 2021, no. 6, pp. 21–30 (In Russian). doi:10.31799/1684-8853-2021-6-21-30

References

1. Wurzer D., Spielhagen P., Siegmann A., et al. Remote monitoring of COVID-19 positive high-risk patients in domestic isolation: A feasibility study. *PLoS One*, 2021, vol. 16(9), e0257095. doi:10.1371/journal.pone.0257095
2. Taiwo O., Ezugwu A. Smart healthcare support for remote patient monitoring during Covid-19 quarantine. *Informatics in Medicine Unlocked*, 2020, vol. 20, 100428. doi:10.1016/j.imu.2020.100428
3. Kakria P., Tripathi N. K., Kitipawang P. A real-time health monitoring system for remote cardiac patients using smartphone and wearable sensors. *Int. J. Telemed. Appl.*, 2015, 373474. doi:10.1155/2015/373474
4. Kalid N., Zaidan A. A., Bahaa B., Salman O. Based real time remote health monitoring systems: A review on patients prioritization and related "Big Data" using body sensors information and communication technology. *Journal of Medical Systems*, 2017, vol. 42, iss. 2, Article 30. doi:10.1007/s10916-017-0883-4
5. Mohammed K. I., Zaidan A. A., Zaidan B. B., Albahri O. S. & Hashim M., Alsalem M. A., Albahri A. S., Hadi Ali. Real-time remote-health monitoring systems: A review on patients prioritisation for multiple-chronic diseases, taxonomy analysis, concerns and solution procedure. *Journal of Medical Systems*, 2019, vol. 43, Article 223. doi:10.1007/s10916-019-1362-x
6. Yuldashev Z. M., Magrupov T. M. Systems and technologies for remote health state monitoring of patients with chronic diseases. *International Conference on Information Science and Communications Technologies (ICISCT)*, IEEE, 2020, pp. 1–6. doi:10.1109/ICISCT50599.2020.9351387
7. Ryu D., Kim D. H., Price J. T., Jong J. Y., et. al. Comprehensive pregnancy monitoring with a network of wireless, soft, and flexible sensors in high- and low-resource health settings. *PNAS*, 2021, vol. 118, no. 20, e2100466118. doi:10.1073/pnas.2100466118
8. Pustozarov E. A., Yuldashev Z. M., Popova P. V., Bolotko Y. A., Tkachuk A. S. Information support system for patients with gestational diabetes mellitus. *Biomedical Engineering*, 2018, vol. 51, no. 6, pp. 407–410. doi:10.1007/s10527-018-9759-2
9. Peterson A., Arendt K. W., Sharpe E. Management of supraventricular tachycardia in pregnancy. *Pain Medicine*, 2020, vol. 21, iss. 2, pp. 426–428. doi:10.1093/pm/pnz330
10. Noben L., Westerhuis M. E. M. H., van O Laar J., Kok R. D., et al. Feasibility of non-invasive Foetal electrocardiography in a twin pregnancy. *BMC Pregnancy and Childbirth*, 2020, vol. 20, Article 215. doi:10.1186/s12884-020-02918-8
11. Yuldashev Z. M., Sergeev A. M., Nastueva N. S. Perspectives for the use of the internet of things in portable online cardiac monitors. *Biomedical Engineering*, 2021, vol. 55, iss. 2, pp. 201–214. doi:10.1007/s10527-021-10102-1
12. Luo F. Y., Chadha R., Osborne C., Kealey A. Arrhythmogenic right ventricular cardiomyopathy (ARVC) in pregnancy: a case series of nine patients and review of literature. *The Journal of Maternal-Fetal & Neonatal Medicine*, 2020. doi: 10.1080/14767058.2020.1745176
13. Raut R., Dikshit-Ratnaparkhi A., Bormane D. Development of algorithm for extraction of fetal from maternal ECG on benchmark. *Database and Prototype Development for Acquisition*, IEEE, 2020. doi:10.1109/ICCMC48092.2020.ICCMC-00059
14. Evans J., Papadopoulos A., Silvers C., Charness N., Boot W., Fairchild L., et. al. Remote health monitoring for older adults and those with heart failure: Adherence and system usability. *Telemed J E-Health*, 2016, vol. 22, iss. 6, pp. 480–488. doi:10.1089/tmj.2015.0140
15. Yuldashev Z., Sergeev A., Nastueva N. IoMT technology as the basis of wearable online monitors for space distributed monitoring systems for pregnant women. *Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication*

- Systems (WECONF 2021)*, Conference Proceedings, 2021, Article 9470556.
16. Iranpak S., Shahbahrami A., Shakeri H. Remote patient monitoring and classifying using the internet of things platform combined with cloud computing. *Journal of Big Data*, 2021, vol. 8, Article 120. doi:10.1186/s40537-021-00507-w
 17. María Luz Morales-Botello, Diego Gachet, Manuel de Buena-ga, Fernando Aparicio, María J Busto, Juan Ramón Ascanio. Chronic patient remote monitoring through the application of big data and internet of things. *Health Informatics Journal*, 2021. doi:10.1177/14604582211030956
 18. Whittington J. R., Magann E. F. Telemedicine in high-risk obstetrics. *Obstetrics and Gynecology Clinics of North America*, 2020, vol. 47, no. 2, pp. 249–257. doi:10.1016/j.ogc.2020.02.007
 19. van den Heuvel J. F. M., Teunis C. J., Franx A., Crombag N. M. T. H. & Bekker M. N. Home-based telemonitoring versus hospital admission in high risk pregnancies: a qualitative study on women's experiences. *BMC Pregnancy Childbirth*, 2020, vol. 20, no. 77. doi:10.1186/s12884-020-2779-4
 20. Bocca B., et al. Human biomonitoring to evaluate exposure to toxic and essential trace elements during pregnancy. Part A. Concentrations in maternal blood, urine and cord blood. *Environmental Research*, 2019, vol. 177, p. 108599. doi:10.1016/j.envres.2019.108599
 21. Alessia Gloria, Maria Cristina Veronesi, Rita Carluccio, Salvatore Parrillo, Ippolito De Amicis, Alberto Contri. Biochemical blood analysis along pregnancy in Martina Franca jennies. *Theriogenology*, 2018, vol. 115, pp. 84–89. doi:10.1016/j.theriogenology.2018.04.026

УВАЖАЕМЫЕ АВТОРЫ!

Научные базы данных, включая SCOPUS и Web of Science, обрабатывают данные автоматически. С одной стороны, это ускоряет процесс обработки данных, с другой — различия в транслитерации ФИО, неточные данные о месте работы, области научного знания и т. д. приводят к тому, что в базах оказывается несколько авторских страниц для одного и того же человека. В результате для всех по отдельности считаются индексы цитирования, что снижает рейтинг ученого.

Для идентификации авторов в сетях Thomson Reuters проводит регистрацию с присвоением уникального индекса (ID) для каждого из авторов научных публикаций.

Процедура получения ID бесплатна и очень проста, есть возможность провести регистрацию на 12-ти языках, включая русский (чтобы выбрать язык, кликните на зеленое поле сверху справа на стартовой странице): <https://orcid.org>