



УДК 004.032.26

**Б.С. Ахметов, Ф.Н. Абдолдина**

Казахский национальный технический университет им. К.И. Сатпаева, г. Алматы

**В.И. Горбаченко, О.Ю. Кузнецова**

Пензенский государственный университет, г. Пенза

**ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ СИНДРОМА ЭНДОГЕННОЙ  
ИНТОКСИКАЦИИ С ХРОНИЧЕСКОЙ ПОЧЕЧНОЙ НЕДОСТАТОЧНОСТЬЮ**

Синдром эндогенной интоксикации (СЭИ) является одним из наиболее распространенных в клинической практике и характеризуется накоплением в тканях биологических продуктов, которые представляют собой результат реагирования на повреждающий фактор [1, 2, 3]. Задача ранней диагностики СЭИ является на сегодняшний день актуальной в связи с частым развитием хронической и острой почечной недостаточности (ХПН и ОПН), тяжестью течения и высокой летальностью. Известно, что летальность при тяжёлой форме ХПН составляет более 40 % и существенно не меняется последние 30 лет [4].

Задача ранней диагностики СЭИ затруднена сложностью использования специфических маркеров токсикоза. Для диагностики СЭИ существуют различные лабораторные методы, однако они являются дорогостоящими, в связи с чем, встает задача создания менее дорогостоящих и более доступных методов диагностики.

Чтобы сделать правильный прогноз возникновения заболевания, необходимо проанализировать большое количество факторов риска и диагностических признаков, приводящих к заболеваниям. Для обработки биомедицинских данных используют формальные методы, среди которых одним из наиболее популярных является нейросетевые. Нейронные сети имеют возможность обучаться и обобщать накопленные знания и используются для задач классификации образов, распознавания, идентификации, прогнозирования.

Целью исследования явилась оптимизация компьютерной диагностики СЭИ с использованием нейросетевого метода у больных в терминальной стадии ХПН.

Для решения задачи нейросетевой диагностики синдрома эндогенной интоксикации на примере ХПН были сформированы обучающая и тестовая выборки по двум группам наблюдений. Первую группу наблюдений составили данные пациентов в терминальной стадии ХПН. Во вторую группу наблюдений вошли данные пациентов в ранней стадии ХПН. На вход нейронных сетей будет подаваться вектор, состоящий из пяти элементов, отобранных на предыдущем этапе с использованием статистических методов.

После выполнения препроцессорной обработки исходных данных следует приступить к построению нейронной сети. Построение сети идет в два этапа: разработка математической модели и обучение сети.

При создании архитектуры нейронной сети необходимо решить вопрос о количестве слоев и количестве элементов (нейронов) в каждом слое. Поскольку количество входных и выходных элементов определяется свойствами входных и выходных данных, исследование архитектуры многослойной сети следует начать с определения размера одного скрытого слоя [5].

Первоначально проводилась экспериментальная проверка возможности использования персептрона для диагностики эндогенной интоксикации. Для моделирования работы нейронных сетей использовался пакет Neural Network Toolbox.

Эксперименты с персептроном показали, что этот тип сетей не способен обучаться на представленных данных. Это означает, что данные показатели линейно неразделимы [6].

В дальнейшем проводилась экспериментальная проверка возможности использования многослойного персептрона для диагностики синдрома эндогенной интоксикации на примере ХПН. В общем случае многослойный персептрон может содержать несколько слоев скрытых нейронов и осуществлять отображение из одного векторного пространства признаков произвольной размерности в другое векторное пространство другой произвольной размерности.

Количество входных и выходных элементов в многослойном персептроне определяется условиями задачи. Необходимость в большом количестве скрытых слоёв отпадает, так как теоретически единственного скрытого слоя достаточно, чтобы перекодировать входное представление таким образом, чтобы получить линейную разделимость для выходного представления [5].

На рис. 1:  $x_1, x_2, \dots, x_N$  - множество входных сигналов;  $w_1, w_2, \dots, w_N$  - вес нейронов; верхний индекс (1) - вес нейронов скрытого слоя; верхний индекс (2) - вес нейронов выходного слоя»  $g_j (j=1,2,\dots,L)$  - выходные сигналы нейронов скрытого слоя;  $y_j (j=1,2,\dots,M)$  - выходные сигналы выходного слоя.

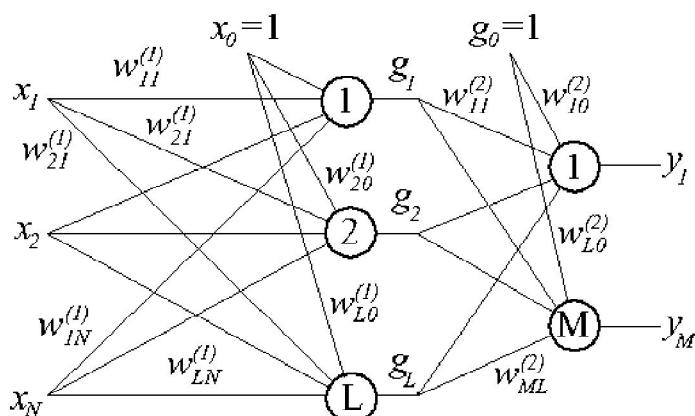


Рисунок 1 – Двухслойная нейронная сеть

Экспериментальные исследования применения сети с многослойным персептроном для диагностики СЭИ на примере ХПН проводились при следующих условиях. Количество нейронов в скрытом слое изменялось от 5 до 25, экспериментально было установлено, что использование в скрытом слое более 25 нейронов является избыточным и не приводит к положительным результатам. Для приблизительной оценки числа нейронов в скрытых слоях можно воспользоваться формулой для оценки необходимого числа синаптических весов  $N_w$  в многослойной сети с сигмоидальными функциями [5]. Из формулы можно рассчитать нижнюю границу необходимого числа нейронов скрытого слоя. При пятиэлементном входе нижняя граница необходимого числа нейронов скрытого слоя приблизительно равна пяти.

Для обучения нейронной сети использовался алгоритм градиентного спуска. Цель обучения состоит в настройке весов и смещений сети, чтобы при заданном входном векторе  $x$  получить на выходе значения сигналов  $y_i$ , которые с требуемой точностью будут совпадать с ожидаемыми значениями  $d_i$  для  $i = 1, 2, \dots, p$ . С использованием собранных исторических данных веса и пороговые значения автоматически корректируются с целью минимизировать ошибку. Вычисление выхода слоя заключается в умножении входного вектора на вектор весов с последующим умножением результирующего вектора на второй вектор весов. Выходной сигнал можно описать функцией

$$y_k = f\left(\sum_{i=0}^K w_{2ki} u_i\right) = f\left(\sum_{i=0}^K w_{2ki} f\left(\sum_{j=0}^N w_{1ij} x_j\right)\right). \quad (1)$$

Задача выбора правильного количества нейронов в скрытых слоях является очень важной. При слишком малом количестве нейронов в скрытом слое сеть не сможет обучиться. Слишком большое количество нейронов в скрытом слое повлечет за собой увеличение времени обучения сети до фактически нереального значения. Также это может привести к переобучению сети, проявляющемуся в том, что сеть будет прекрасно работать на обучающей выборке, но очень плохо на входных примерах, не входящих в нее. Существуют эвристические правила выбора количества нейронов в скрытых слоях. Одним из таких правил является правило геометрической пирамиды [5].

Задача обучения нейронной сети - минимизация определенной целевой функции  $E(w)$

$$E(w) = \sum_{j,p} (y_{j,p}^{(N)} - d_{j,p})^2, \quad (2)$$

где  $E(w)$  - целевая функция;  $y_{j,p}^{(N)}$  - реальный выход  $N$ -го выходного слоя сети для  $p$ -го нейрона на  $j$ -м обучающем примере;  $d_{j,p}$  - желаемый выход.

При таком подходе можно применять для обучения алгоритмы, которые в теории оптимизации считаются наиболее эффективными. К ним, без сомнения, относятся градиентные методы [5]. Эти методы связаны с разложением целевой функции  $E(w)$  в ряд Тейлора в ближайшей окрестности точки имеющегося решения  $w$ . В случае целевой функции от многих переменных ( $w = [w_1, w_2, \dots, w_n]^T$ ) такое представление связывается с окрестностью ранее определенной точки (в частности, при старте алгоритма это исходная точка  $w_0$ ) в направлении вектора  $p$ . Вектор  $p$  играет роль направляющего вектора, зависящего от фактических значений вектора  $w$ . Подобное разложение описывается универсальной формулой вида [5]:

$$E(w + p) = E(w) + [\mathbf{g}(w)]^T p + \frac{1}{2} p^T \mathbf{H}(w) p + \dots,$$

где  $\mathbf{g}(w) = \nabla E = \left[ \frac{\partial E}{\partial w_1}, \frac{\partial E}{\partial w_2}, \dots, \frac{\partial E}{\partial w_n} \right]^T$  - вектор градиента, а симметричная квадратная матрица

$$\mathbf{H}(\mathbf{w}) = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 E}{\partial w_1 \partial w_1} & \dots & \frac{\partial^2 E}{\partial w_1 \partial w_n} \\ \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial^2 E}{\partial w_n \partial w_1} & \dots & \frac{\partial^2 E}{\partial w_n \partial w_n} \end{bmatrix}$$

является матрицей производных второго порядка, называемой *гессианом*.

При использовании метода обратного распространения ошибки вычисления производятся по следующему алгоритму:

1. Проход вперед - на вход сети подается один или несколько векторов, рассчитываются выходные векторы скрытых слоев и выходного слоя. Рассчитывается функционал ошибки ( $E$ ) по формуле (2). Если он больше заданной величины, то происходит переход на 2 шаг, если меньше, то - переход на окончание алгоритма.

2. Проход назад - двигаясь от выходного слоя, рассчитываются производные вида  $\frac{\partial E^{(k)}}{\partial w_{ij}^{(k)}}$  (компоненты градиента функционала ошибки по весам сети и смещениям).

3. С использованием найденного градиента, применяя метод градиентной минимизации, корректируются веса и смещения всех слоев, и происходит переход на шаг 1.

4. Окончание алгоритма.

Данный алгоритм предъявляет невысокие требования к объему памяти и имеет относительно небольшую вычислительную сложность. Алгоритм обратного распространения ошибки имеет и ряд недостатков. При обучении градиентным алгоритмом достигается ближайший к начальному состоянию сети локальный минимум. Обучение сети сильно зависит от параметра скорости обучения. Этот параметр должен быть малым. Причем при слишком малом параметре сеть обучается очень медленно, а при слишком большом процесс обучения может расходиться.

Выбор данного алгоритма связан с тем, что остальные алгоритмы обучения требуют больших ресурсов компьютера [5], что не всегда выполнимо в условиях лечебных учреждений различного уровня. Поэтому целесообразно использовать более медленный, но менее ресурсоемкий алгоритм градиентного спуска. Максимальное количество циклов обучения – 10 000. В качестве функции активации для всех сетей использовался гиперболический тангенс:

$$tansig(n) = \frac{2}{1 + e^{-2n}} - 1. \quad (3)$$

Входные переменные должны масштабироваться, то есть приводиться к единому диапазону изменения. Необходимость масштабирования объясняется несколькими причинами. После кодирования информации входами и выходами нейронной сети могут быть разнородные величины, изменяющиеся в различных диапазонах. Все входные переменные желательно привести к единому диапазону и нормировать (максимальное абсолютное значение входных переменных не должно превышать единицу). В противном случае ошибки, обусловленные переменными, изменяющимися в широком диапазоне, будут сильнее влиять на обучение сети, чем ошибки переменных, изменяющихся в узком диапазоне. Поэтому входные переменные, как правило, были приведены к виду [-1, 1].

В экспериментах использовались сети с пятью (общий белок, мочевина, креатинин, альбумины, билирубин) нейронами, а также сети с двадцатью пятью (полный набор показателей) нейронами в первом слое, так как количество нейронов первого слоя должно

быть равно количеству элементов вектора входа. В выходном слое использовался всего один нейрон, так как сеть разбивает входное множество на два класса (больной - здоровый). Признак «здоровый» кодировался значением выхода  $y \in [0, 1]$ , признак «больной» кодировался значением выхода  $y \in [-1; 0,3]$ .

В ходе экспериментов подбиралось наилучшее количество нейронов скрытого слоя. Результаты экспериментов приведены в табл. 1.

Таблица 1  
*Ошибки многослойной сети при диагностике по пяти показателям пациентов в терминальной стадии ХПН*

Количество нейронов в скрытом слое	Минимальная ошибка, %	Количество нейронов в скрытом слое	Минимальная ошибка, %
5	15,88	16	8,33
6	13,56	17	17,85
7	28,69	18	29,76
8	16,76	19	14,28
9	17,09	20	44,07
10	14,67	21	16,66
11	42,00	22	15,47
12	11,90	23	38,09
13	40,47	24	29,76
14	14,28	25	13,09
15	16,66	-	-

Экспериментально установлено, что по величине ошибки классификации и среднеквадратическому отклонению ошибки лучшей является нейронная сеть с 16 нейронами в скрытом слое.

Эксперименты проводились с использованием сети с пятью нейронами в первом слое, в результате было установлено, что лучший результат показала сеть с 16 нейронами в скрытом слое [5, 7], обученная по алгоритму градиентного спуска.

Следующие эксперименты проводились с использованием данных пациентов в ранней стадии ХПН. Результаты экспериментов приведены в табл. 2.

Таблица 2  
*Ошибки многослойной сети при диагностике по пяти показателям пациентов в ранней стадии ХПН*

Количество нейронов в скрытом слое	Минимальная ошибка, %	Количество нейронов в скрытом слое	Минимальная ошибка, %
5	37,14	16	39,47
6	43,18	17	47,36
7	52,63	18	33,57
8	37,44	19	42,10
9	43,12	20	44,73
10	50,63	21	47,36
11	39,77	22	52,63
12	43,36	23	36,84
13	32,63	24	42,10
14	42,10	25	52,63
15	36,84	-	-

Экспериментально установлено, что сеть на данных о пациентах в ранней стадии ХПН с использованием алгоритма градиентного спуска дает ошибку, превышающую 30 %.

Следующие эксперименты проводились с использованием сети с 25 нейронами в первом слое. Обучение проводилось алгоритмом градиентного спуска. Для сравнения при обучении было взято 16 нейронов в скрытом слое на данных о пациентах в терминальной стадии ХПН и 13 нейронов в скрытом слое на данных о пациентах в ранней стадии ХПН. Результаты экспериментов приведены в табл. 3.

Таблица 3  
*Ошибка многослойной сети при диагностике по 25 показателям*

Выборка	Минимальная ошибка, %		
	Сети	Первого рода (Гипердиагностика)	Второго рода (Гиподиагностика)
В терминальной стадии	9,78	6,53	3,25
В ранней стадии	42,79	12,65	30,14

Для медицинских работников важен не только процент ошибки, но и процент гипердиагностики и гиподиагностики сети. Рассчитывалось количество ошибок первого и второго рода. Ошибка первого рода или гипердиагностика возникает, когда анализ крови показал заболевания, хотя на самом деле человек здоров. Ошибка второго рода или гиподиагностика возникает, когда анализ крови показал отсутствие заболевания, хотя на самом деле человек болен. Исследование проводилось на сети, показавшей лучший результат диагностики синдрома эндогенной интоксикации на примере ХПН: многослойный персептрон с шестнадцатью нейронами в скрытом слое на данных о больных в терминальной стадии ХПН и на сети с тринадцатью нейронами в скрытом слое на данных о больных в ранней стадии ХПН. Результат представлен в табл. 4.

Таблица 4  
*Соотношение ошибок первого и второго рода на данных о больных  
в терминальной и в ранней стадии ХПН*

Показатели пациентов	Количество нейронов в скрытом слое	Ошибка, %		
		Сети	Первого рода (Гипердиагностика)	Второго рода (Гиподиагностика)
В терминальной стадии ХПН	16	8,33	5,95	2,38
В ранней стадии ХПН	13	32,63	8,48	24,15

Из приведенных выше результатов видно, что для диагностики синдрома эндогенной интоксикации на примере ХПН, с помощью многослойного персептрана, лучше использовать архитектуру с пятью нейронами в первом слое и с шестнадцатью нейронами в скрытом слое на данных о больных в терминальной стадии ХПН. На данных в ранней стадии ХПН нейронные сети дают большой процент ошибки.

#### Список литературы

1. US Renal Data System, USRDS 2009 Annual Data Report: atlas of end-stage renal disease in the United States, National Institutes of Health, National Institutes of Diabetes and Digestive and Kidney Diseases, 2009.
2. Малахова М.Я. Метод регистрации эндогенной интоксикации: Пособие для врачей. – СПб.: Изд-во СПб МАПО, 1995. – 34 с.

3. Капустин Б.Б. Способы определения степени эндогенной интоксикации у больных абдоминальным сепсисом // Труды Междунар. конгресса «Новые технологии в хирургии». – Ростов-на-Дону. – 2005. – С. 47.
4. Levey, AS CKD-EPI (Chronic Kidney Disease Epidemiology Collaboration). A New Equation to Estimate Glomerular Filtration Rate / AS Levey, LA Stevens, CH Schmid, YL Zhang, AF Castro 3rd, HI Feldman, JW Kusek, P Eggers, F Van Lente, T Greene, J Coresh. Ann Intern Med. 2009. – Vol 150. – № 9. – Р. 604-613.
5. Медведев В.С. Нейронные сети MATLAB 6 / В.С. Медведев, В.Г. Потёмкин. – М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2002. – 496 с.
6. Кузнецова (Белова) О.Ю. Нейросетевая система диагностики эндогенной интоксикации у больных с хронической почечной недостаточностью в хирургической клинике / В.И. Горбаченко, О.Ю. Белова, А.А. Соломаха // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. – 2010. – Т. 9. – № 3. – С. 622-626.
7. Кузнецова (Белова) О.Ю. Диагностики эндогенной интоксикации у больных с хронической почечной недостаточностью с помощью нейросетевой системы / О.Ю. Кузнецова (Белова), В.И. Горбаченко, А.А. Соломаха // Нейрокомпьютеры и их применение: Сб. статей X Всерос. науч. конф. – М.: Изд-во МГППУ, 2012. – С. 60-61.

Получено 15.07.2015

---

УДК 004.942

**Ж.Т. Бельдеубаева, С.Ж. Рахметуллина, Е.М. Турганбаев**

Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева,  
г. Усть-Каменогорск

**КОНЦЕПЦИЯ РАЗРАБОТКИ ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО  
МОНИТОРИНГА ПОДЗЕМНЫХ ВОД**

Загрязнение и истощение подземных вод является следствием воздействия человека на подземную гидросферу. Подземные воды - это один из главных источников воды для жизни людей наряду с реками и озерами. Охрана подземных вод - это одна из актуальных задач в гидрогеологии. Эта задача имеет также социально-экономический характер и важна не только на уровне отдельных государств и регионов, но и в мировом масштабе. Предотвращение загрязнения и истощения подземных вод Республики Казахстан и неблагоприятных последствий от этих явлений является важной и актуальной задачей, поскольку географическое расположение республики способствует дефициту водных ресурсов, в том числе и подземных [1]. Загрязнение подземных вод происходит под влиянием естественных природных процессов, но основными факторами загрязнения является большой объем выбросов сточных вод предприятий промышленности и сельского хозяйства в водотоки и водоемы. Вклад этих источников в загрязнение водного бассейна страны является значимым и влечет за собой загрязнение подземных вод, которые формируют основной водный запас для населения и предприятий. Исследования в данном направлении также являются актуальными и для Восточного Казахстана, региона насыщенного промышленными и горнодобывающими предприятиями.

Важным инструментом в решении задач охраны подземных вод является мониторинг подземных вод. Коллективом ВКГТУ им. Д. Серикбаева проводились работы по созданию автоматизированной информационной системы, обеспечивающей защищенную удаленную работу пользователей с базой данных «Подземные воды», входящей в состав Государственного банка данных о недрах Республики Казахстан [2]. Разработка данного программного продукта позволила повысить эффективность формирования и использования информационных ресурсов мониторинга подземных вод Республики Казахстан за счет эксплуа-

тации единой централизованной базы данных «Подземные воды» и организации удаленного доступа к данным на основе защищенных протоколов Интернет. Однако в ходе реализации указанного проекта стало очевидно, что необходимо развивать аналитическую составляющую мониторинга подземных вод Республики Казахстан, т.е. переходить от простого сбора и хранения эмпирических данных к их анализу, моделированию и прогнозированию состояния подземных вод страны. База данных, сформированная благодаря функционированию вышеописанной информационной системы, предоставляет богатый эмпирический материал для реализации задач мониторинга подземных вод.

Проблема оценки и прогнозирования запаса и качества подземных вод актуальна во всем мире, поэтому учеными многих стран предпринимаются попытки решения этой проблемы. В частности, информационные системы учета и мониторинга подземных вод созданы в США [3], Австралии [4], Китае [5], Индии [6] и других странах. Однако большинство разработанных информационных систем не содержат в себе аналитической составляющей, способной моделировать и прогнозировать состояние подземных вод.

Кроме этого, исследования состояния подземных вод на территории Республики Казахстан, проводимые учеными разных регионов, имеют разрозненный характер и не образуют единой системы научных знаний [7,8].

Для оценки запаса подземных вод используются различные методы [9]:

- метод конечных разностей, суть которого заключается в замене дифференциалов от функций  $h$  (мощность грунтового потока) и  $H$  (отметка уровня напорных вод) по направлениям координат конечными разностями функции  $h$  или  $H$  по соответствующим координатам. В результате баланс подземных вод описывается в конечных разностях;

- метод аналитических решений дифференциальных уравнений неустановившегося течения, заключающийся в нахождении решений дифференциальных уравнений и их применению к расчетам питания бассейна подземных вод при значительном упрощении условий фильтрации [10-13];

- метод уравнений связи - использование приближенных методов корреляционной связи между изменениями уровня грунтовых вод и мощностью зоны аэрации [10,11];

- определение питания грунтовых вод по данным режимных наблюдений.

Для оценки качества подземных вод используют различные подходы:

- метод физико-химической термодинамики для решения проблемы формирования состава подземных вод [14];

- эколого-гидрологический анализ состояния подземных вод (метод биотестирования - определение биологически значимой концентрации, то есть определение круга микроэлементов, интересных с точки зрения влияния на организм человека) [15];

- изучение и оценка естественных ресурсов подземных вод и их загрязнения некондиционными водами (метод среднемноголетнего баланса, статистический анализ) [16];

- экспресс-метод моделирования процессов смешения сточных вод с водой водотоков, использующий функцию нормального закона распределения для аппроксимации распределения концентрации примесей;

- интегрально-сорбционный метод контроля присутствия загрязняющих веществ в сточных водах, позволяющий восстанавливать концентрацию вещества как функцию времени в сточных водах.

Однако анализ предшествующих исследований показал, что необходимо комплексное использование методик оценки качества и запасов поземных вод и математических моделей динамики загрязнения, такой подход позволит не только оценить текущее состояние подземной гидросфера, но и прогнозировать неблагоприятные ситуации, исследовать

влияние различных факторов на решение рассматриваемых задач.

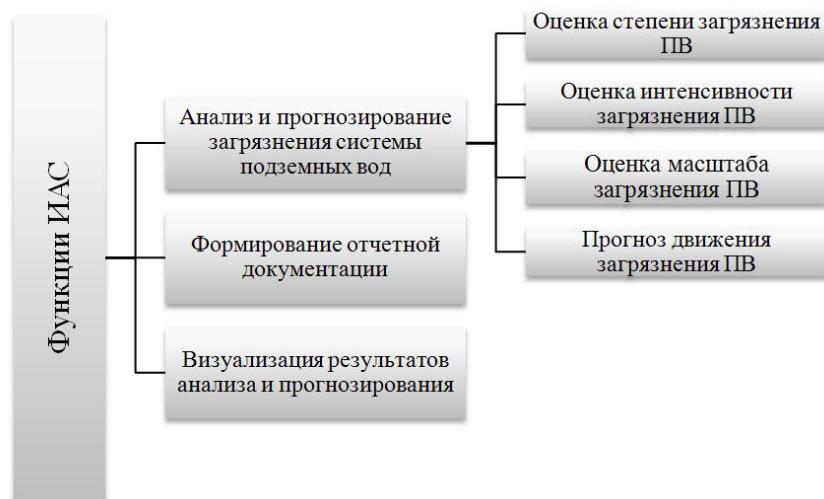
На основе анализа предшествующих исследований разработана концепция информационно-аналитической системы (ИАС) экологического мониторинга подземных вод (рис. 1).



Рисунок 1 - Концепция разработки информационно-аналитической системы экологического мониторинга подземных вод

ИАС должна позволять осуществлять (рис. 2):

- анализ и прогнозирование загрязнения системы подземных вод;
- автоматически формировать стандартную отчетность, позволяющую отобразить результаты анализа и прогнозирования в виде таблиц, схем, графиков и пояснительных текстов;
- визуализировать результаты анализа и прогнозирования для обеспечения более удобного и качественного восприятия материала пользователями системы.



### Рисунок 2 - Основные функции ИАС

На стадии анализа загрязнения подземных вод осуществляется оценка степени, интенсивности и масштаба загрязнения. При оценке степени загрязнения должны быть выявлены области: I - допредельного (начальная степень) и II - запредельного загрязнения. II степень загрязнения, в свою очередь, включает в себя еще 3 градации степени загрязнения (II<sub>a</sub>, II<sub>b</sub>, II<sub>v</sub>), последняя из которых характеризуется как экстремальное загрязнение. Оценка степени загрязнения осуществляется на основе сравнения фонового значения, значения предельно допустимой концентрации (ПДК) и измеренного качества воды.

Оценка интенсивности загрязнения подземных вод включает в себя оценку средней минерализации внутри области загрязнения, средней величины других обобщенных показателей качества воды, средней концентрации отдельных веществ, температуры подземных вод.

Оценка степени и интенсивности загрязнения осуществляется на основе общих и специальных показателей согласно нормативной документации.

Оценка масштабов загрязнения осуществляется путем определения площади области загрязнения. Область загрязнения определяется на основе построения контура по скважинам, из которых был произведен забор воды для анализа. При оценке масштабов загрязнения подземных вод используется система градаций, включающая в себя восемь уровней.

Результаты анализа и прогнозирования должны быть предоставлены пользователям системы, в первую очередь, в виде стандартной отчетности специалистов-гидрогеологов и гидроэкологов. Также нужно предусмотреть формирование отчетности по специальным запросам пользователей.

Задача прогнозирования загрязнения является не менее важной и ее решение также должно быть реализовано в информационно-аналитической системе.

Прогнозирование осуществляется на основе оценки состояния системы подземных вод на данный момент с учетом факторов, влияющих на изменение степени, интенсивности, масштаба загрязнения в будущем (климатические условия, антропогенное влияние и т.д.) [17, 18].

Одним из важных модулей информационно-аналитической системы должен явиться модуль визуализации результатов анализа и прогнозирования, так как это, во-первых, отвечает требованиям к современным информационным системам, во-вторых, позволит существенно повысить информативность материалов системы. Модуль визуализации должен позволять формировать статичные изображения, иллюстрирующие состояние системы на данное время и динамичные кадры, отображающие ретроспективу изменения системы подземных вод в прошлом или прогнозируемое изменение состояния системы в будущем.

Информационное обеспечение ИАС основано на базе данных, формируемых на основе информации, получаемых от специалистов режимных гидрогеологических партий, функционирующих во всех регионах РК.

На данное время структура и качество данных, имеющихся в республиканской БД «Подземные воды», сформированных на основе стандартной отчетности режимных гидрогеологических партий, недостаточны для решения задач проекта по разработке информационно-аналитической системы и требуют дополнительных данных и предварительной обработки. В частности, отсутствуют данные по ПДК загрязняющих веществ (ЗВ), результаты лабораторного анализа проб воды из скважин на содержание ЗВ, данные по привязке скважин к местности, что необходимо для оценки масштабов загрязнения. В

связи с этим возникает задача проектирования и разработки оптимальной структуры базы данных, необходимой для достижения цели проекта.

Математическое обеспечение ИАС представляет собой совокупность методов, позволяющих выполнить:

- оценку состояния загрязнения подземных вод;
- прогноз движения загрязнения подземных вод;
- комплексную оценку состояния подземных вод;
- моделирование процесса загрязнения подземных вод.

Методы оценки состояния уровня загрязнения подземных вод, а именно степени, интенсивности и масштаба загрязнения, основаны на математико-статистических расчетах, выполняемых на основе общих и специальных показателей [19,20]. В процессе оценки осуществляется сравнение измеренных значений показателей с фоновыми значениями и предельно-допустимыми нормативными значениями. Данные методы включают в себя систему критериев.

Комплексная оценка состояния подземных вод основана также на математико-статистических расчетах. Данная методология базируется на индикаторах устойчивости подземных вод к антропогенному воздействию, а индексы, характеризующие индикаторы устойчивости, являются составными частями в количественных выражениях.

Индикаторы, используемые в данной методологии, сгруппированы в основные группы (рис. 3):

- индикаторы воздействия, позволяющие количественно оценить воздействия на подземные воды;
- индикаторы состояния, позволяющие оценить изменения, происходящие в подземных водах под воздействием негативных факторов;
- индикаторы отклика, позволяющие охарактеризовать политico-социоэкономические решения в ответ на оценку состояния подземных вод.

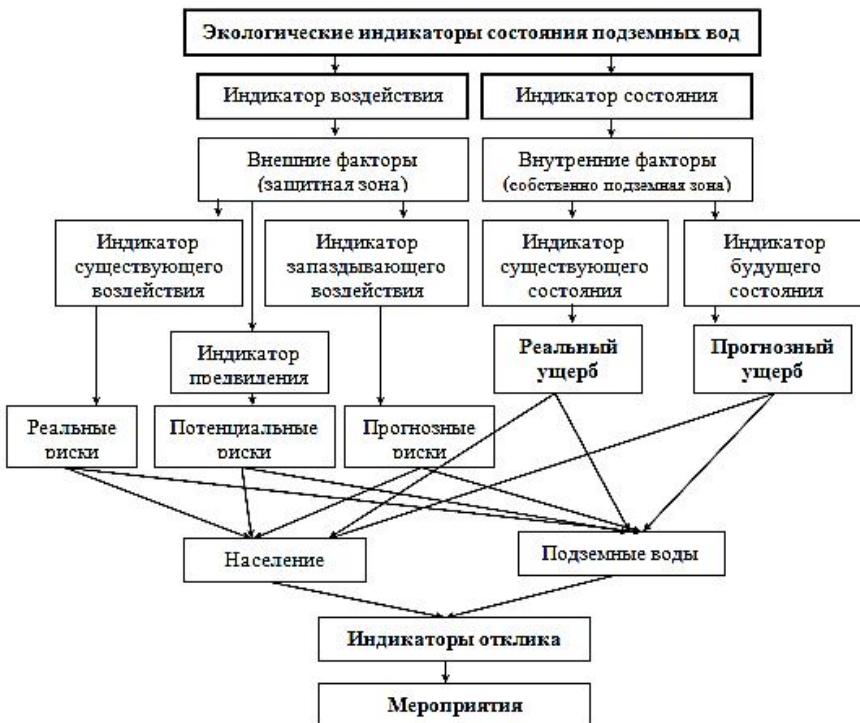


Рисунок 3 - Структура индексов индикаторов состояния подземных вод

Моделирование процесса загрязнения подземных вод базируется на численной реализации трехмерного дифференциального уравнения геофильтрации подземных вод в частных производных и уравнения движения фильтрационного потока постоянной плотности в обобщенной форме закона Дарси [21-23]:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( K_x \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_y \frac{\partial H}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_z \frac{\partial H}{\partial z} \right) - W = S_s \frac{\partial H}{\partial t},$$

$$\vec{v} = -k \nabla H,$$

где  $K_x, K_y, K_z$  – коэффициенты фильтрации вдоль координатных осей  $x, y, z$  соответственно,  $\frac{m}{сут}$ ;  $H(x, y, z)$  – потенциометрический уровень (напор), м;  $W(x, y, z)$  – функция источников (инфилтрация и т.п.), сут<sup>-1</sup>;  $S_s$  – удельная водоотдача пористой среды почв, м<sup>-1</sup>;  $t$  – время, сут;  $k$  – коэффициент фильтрации;  $H$  – гидродинамический напор;  $\vec{v}$  – скорость фильтрации.

Проектирование и разработка ИАС невозможны без применения современных информационных технологий. В описываемой системе анализ, прогноз состояния загрязнения подземных вод будет осуществляться на основе данных, хранимых в базе данных «Подземные воды». Ввод данных осуществляется территориальными пользователями посредством развитых программно-технологических средств веб-интерфейса напрямую в республиканскую базу данных. Соединение с базой данных осуществляется с использованием стека защищенных протоколов сети Интернет.

Эмпирический материал, хранимый в базе данных, на основе которого будет осуществляться оценка и прогнозирование состояния загрязнения подземных вод, должен быть предварительно подвергнут анализу с целью извлечения полезной информации, подготовки данных для применения вышеуказанных методов.

Для реализации задач визуализации результатов анализа и прогнозирования необходимо применение инструментов компьютерной графики.

ИАС, основанная на базе данных «Подземные воды», содержащей режимные данные со всех регионов Республики Казахстан, позволит создать единую сеть мониторинга состояния подземных вод во всех регионах на единой информационно-технической, научно-методологической платформе.

Суть исследования в рамках проекта заключается в разработке ИАС, которая на основе данных режимных партий будет непрерывно осуществлять оценку и прогнозирование качества и запасов подземных вод на территории всех регионов Республики Казахстан. ИАС будет являться подсистемой информационной системы «Подземные воды», которая на данное время представляет собой базу данных, содержащую данные режимных партий за прошедший период времени и регулярно пополняющуюся новыми данными.

Основным достоинством ИАС будет являться то, что она будет единой для всех регионов и позволит получать общую картину состояния подземных вод в Казахстане.

Внедрение ИАС мониторинга запасов и качества подземных вод Республики Казахстан позволит:

- осуществлять непрерывную оценку и прогноз запасов и качества состояния подземных вод;
- определять зоны повышенного экологического риска.

Анализ этих результатов будет способствовать:

- повышению устойчивого экологического состояния бассейна подземных вод региона и государства в целом и своевременной разработке комплекса управлеченческих решений по охране бассейна подземных вод от негативного воздействия различных факторов, для предотвращения возможных неблагоприятных и чрезвычайных ситуаций;
- созданию условий для улучшения качества жизни в целом и профилактике роста заболеваний, обусловленных потреблением некачественной воды.

#### Список литературы

1. Нысанбек У.М. Концептуальные проблемы экологической безопасности в Республике Казахстан // Информационно-аналитический журнал «Международные отношения и безопасность». - 2003. - С. 15-19.
2. Turganbaev E., Nugumanova A. «Design of the remote access to the «Ground water of the Republic of Kazakhstan» database» International Scientific and Practical Conference «Green economy is the future of humanity», Ust-Kamenogorsk, EKSTU, May, 2014. - pp. 1665-1677.
3. Schreiber R.P. The National Ground Water Monitoring Network Data Portal: From Pilot to Production / NGWA Summit-The National and International Conference on Groundwater. - Ngwa, 2013.
4. Van Dijk A., Renzullo L.J. Water resource monitoring systems and the role of satellite observations / Hydrology and Earth System Sciences, 2011. - Vol. 15, №. 1, pp. 39-55.
5. Feng W. et al. Evaluation of groundwater depletion in North China using the Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE) data and ground-based measurements / Water Resources Research, 2013. - Vol. 49, №. 4, pp. 2110-2118.
6. Auken E. et al. Large Scale Mapping Of Groundwater Resources In India With Results From Test Sites In Different Geological Terrain / 13th SAGA Biennial Conference & Exhibition. - 2013.
7. Паничкин В.Ю. Повышение эффективности гидрогеологических исследований в Казахстане на основе применения новейших информационных технологий // Известия Томского политехнического ун-та. - 2014. - Т. 325. - №. 1. - С. 118-124.
8. Паничкин В.Ю. Концепции геоинформационно-математического моделирования гидрогеологических условий Сырдарьинского артезианского бассейна для оптимизации использования ресурсов подземных вод / В.Ю. Паничкин, О.Л. Мирошниченко // Серия геологических и технических наук. - 2012. - С. 82.
9. Bear J., Cheng A.H.-D. Modeling groundwater flow and contaminant transport. - Springer, 2010. - Т. 23.

10. Лебедев А.В. Оценка баланса подземных вод. - М.: Недра, 1989. - С. 30-39.
11. Лебедев А.В. Методы изучения баланса грунтовых вод. - М.: Недра, 1976.
12. Гавич И.К. Гидрогеодинамика. - М.: Недра, 1988.
13. Мироненко В.А. Динамика подземных вод. Экология горного производства. - М.: Наука, 2009.
14. Колоколова О.В. Геохимия подземных вод района томского водозабора: Автореф. - Томск, 2003.
15. Шварц А.Л. Эколого-гидрогеологический анализ состояния подземных вод при региональных исследованиях: Автореф. - СПб., 2004.
16. Лисьева Н.М. Региональные исследования естественных ресурсов подземных вод: Автореф. - СПб., 2009.
17. Гольдберг В.М. О прогнозе изменения минерализации при эксплуатации подземных вод в условиях подсасывания соленых вод // Вопросы геохимии подземных вод: Сб. ВСЕГИНОГО. - 1978. - № 9. - М.: Недра. - 1978.
18. Гольдберг В.М. Гидрогеологические прогнозы движения загрязнения подземных вод: Метод. рекомендации. - М.: Недра 1973.
19. Гольдберг В.М. Изменение минерализации подземных вод при эксплуатации водозаборов. - М.: Недра, 1974.
20. Гольдберг В.М. Движение подземных вод разных минерализаций. - М.: Недра, 1975.
21. Sukhinov A.A., Sukhinov A.I. 3D Model of Diffusion-Advection-Aggregation Suspensions in Water Basins and Its Parallel Realization. Parallel Computational Fluid Dynamics, Multidisciplinary Applications, Proceedings of Parallel CFD 2004 Conference, Las Palmas de Gran Canaria, Spain, ELSEVIER, Amsterdam-Berlin-London-New York-Tokyo, 2005. - pp. 223-230.
22. Сухинов А.А. О единственности решения задачи диффузии-конвекции - агрегирования взвесей в водной среде / А.А. Сухинов, А.И. Сухинов // Современные проблемы механики сплошной среды: Тр. VIII Междунар. конф., Ростов на/Д., 14-18 окт. 2002 г. - Ростов на/Д.: Новая книга, 2003. - Т. 1. - С. 180-184.
23. Сухинов А.А. Реконструкция экологической катастрофы августа 2001 года в Азовском море на основе прецизионных моделей / А.А. Сухинов, А.И. Сухинов, В.С. Васильев // Современные проблемы механики сплошной среды: Тр. VIII Междунар. конф., Ростов на/Д., 14-18 окт. 2002 г. - Ростов на/Д.: Новая книга, 2003. - Т. 2. - С. 183-187.

Получено 27.07.2015

УДК 004.94:528.9:504.3.054

**M.T. Ipalakova, K.A. Mukashov**

International Information Technology University, Almaty

#### GIS FOR THE MODELING OF THE AIR POLLUTION OF AN INDUSTRIAL CITY BY STATIONARY SOURCES

Ust-Kamenogorsk is a big industrial center of the Eastern Kazakhstan. Therefore it suffers from chemical pollution caused by enterprises of chemical-metallurgical, energy industry and housing and communal services. The stationary sources of emissions supplemented with motor transport do the most harm to the atmosphere of the city.

Thus, a problem-oriented decision support system needs to be created to control and manage different types of industrial pollution in order to reduce the hazardous influence to the level which is safe for human health in particular and environment in general. This task can be accomplished by implementing the most useful from the ecological and economical points of view set of environmental measures and by providing the factories with recommendations about the reasonable volumes of industrial emissions. Such system can be graphically presented as on the Figure 1 [1].

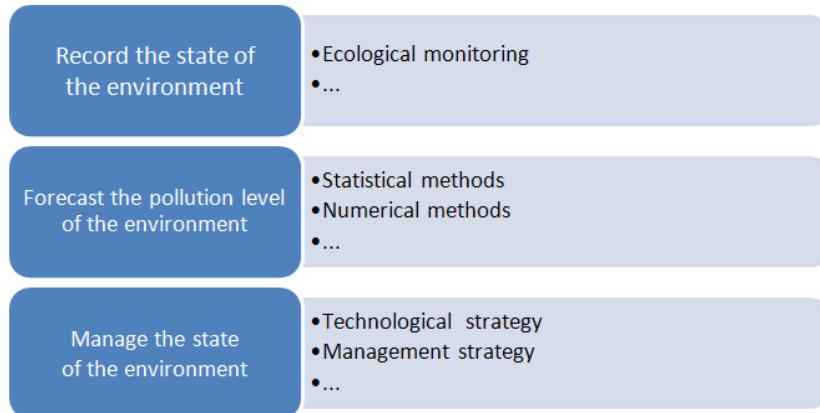


Figure 1 – The system of monitoring and control of the environment quality

The first stage of the system implies the continuous observing the level of the environment pollution, for example air pollution. This function is performed by the set of actions to track the changes in the level of air pollution by periodic measurements of the concentrations of hazardous elements. The next stage is the forecasting of the level of air pollution using different methods, such as statistical, numerical, etc. And the final stage is managing the state of the atmosphere by performing the set of environmental measures within the factories from technological and management perspectives. These actions are needed to be implemented in case of the current concentrations that are above the accepted level.

Each step of the system described in order to be realized needs the special software that provides the informational, mathematical and computational support. For example, in order to perform the air pollution forecast, the mathematical apparatus is required. The ecological monitoring implies using database to store and process the data about everyday measurements of the pollutants' concentrations and weather conditions. Finally, in order to choose the preferable set of the environmental measures some economical model need to be utilized. And the results of the methods listed above need to be visualized, in order to be presented in more descriptive manner. Therefore, at every stage of the system the data visualization is required, such as displaying the current level of the air pollution for a particular pollutant, factory, the aggregated level, the projected level from different perspectives, etc. The best way to implement such visualization is to use contamination areas on a geographical map. In such a way, the system of monitoring and control of the environment quality turns into a geographic information system.

A geographic information system (or GIS) is a system that provides collecting, storing, analysis, and graphical visualization of spatial (geographical) data and connected with them attribute data [2]. By attribute data some additional information about each of the spatial features is assumed.

The key thing in using GIS is that it provides both spatial and statistical methods for analyzing attribute and spatial information. As a result you get derivative information, interpolated information or prioritized information.

GIS is a relatively broad term that can refer to a number of different technologies, processes, and methods. It is attached to many operations and has many applications related to engineering, planning, management, transport/logistics, insurance, telecommunications, and business [3].

The environmental problems usually require the immediate and adequate actions, which efficiency is directly connected to the processing rate and information presentation. In case of a

complex approach specific to ecology, it is usual situation when it is needed to lean on generalizing environment characteristics; therefore the volume of the minimum required information is big. Otherwise, the validity of decisions and actions may not be achieved. However, the simple data accumulation is not enough. This data should be easily accessible and systemized by demands. It is good when we have the ability to connect inhomogeneous data, compare, analyze and view it in a convenient way (table, map or diagram).

GIS has the certain characteristics, which allow considering this technology as the bases of the processing and managing information. GIS tools surpass the abilities of usual cartographic systems and have the main functions of gaining high quality maps. GIS allows collecting, integrating and analyzing any data distributed in the space or attached to the specific place. Also, GIS can visualize the existing information in form of maps, diagrams or graphics. The traditional approach restricts the data integration. For example, it is possible to create the map of productivity of land by combining the information about soil, climate and vegetation. But GIS allows us going further. We can add to that map the demographic information, disease distribution, grain market state and other information. Later this data can be used to predict and evaluate different aspects of the studied process.

It is convenient to model the impact and distribution of pollutants by point and spatial sources on the ground, in the atmosphere and in the water with help of GIS. The results can be laid on the natural maps, for instance, a vegetation map or a city map [4].

In such a way, the system of monitoring and control of the environment quality shown on the Figure 1 can be implemented as GIS.

The project presented below in this article laid the foundation of the development of the GIS of monitoring and control of the environment quality on the example of Ust-Kamenogorsk.

The main goal of the project is to develop the visualization component of the system. The scope of the project was concentrated on the atmosphere of the city. The dissemination of the hazardous substances from the stationary sources of Ust-Kamenogorsk's factories was considered as a result of the visualization task.

As a mathematical support the OND-86 technique was employed. It is the one of the simplest numerical methods that allows pre-calculating the pollution level using the information about expected meteorological conditions and sources emission schedule. This approach is applicable in case of solving the practical problems of pollution level evaluation. The key thing in OND-86 is using the sequence of analytical expressions, which is a result of the approximation of the differential solution of the eddy diffusion equations.

As an informational support the database was created. The constant information about cities, factories, point sources and pollutants were saved in the relational tables of the database. The database is not complex; it gives only the referential information for the system. In the future, new tables can be easily added and connected to the existing ones.

The ER diagram is shown on the Figure 2. Figure 3 depicts the tables' structure and the relationships between them.

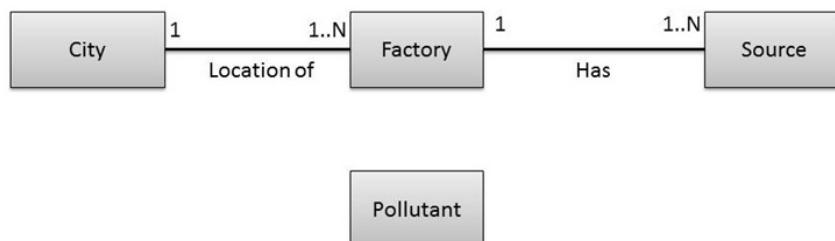


Figure 2 – ER diagram

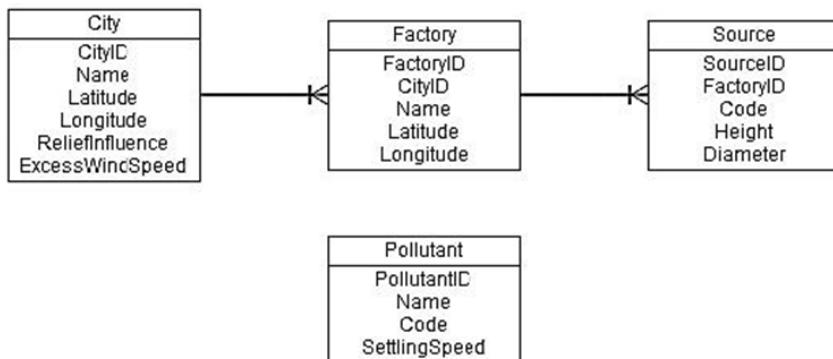


Figure 3 – Structure of the tables

The system has 5 modules:

*Preprocessing module* takes several sets of input parameters, such as information about pollutants, factories, sources; handles them, and transfers to the next module.

*Processing module* combines the input information with other necessary information from the database, transfers it to the calculation module, gets the data from that module, converts it to the output type and transfers it to the intermediate module.

*Calculation module* calculates the output data, such as the pollutant's maximum concentration, etc. by the formulas from the OND-86 and passes the results back to the processing module.

*Visualization module* displays the output information, such as the pollution area, maximum concentration, maximum distance from the source, etc. to the users.

*Intermediate module* converts the data from the pre-processing module into the appropriate format and transfers it to the processing module. After the processing module sends the data back, the intermediate module passes the output information to the visualization module.

The modules interaction is presented on the Figure 4.

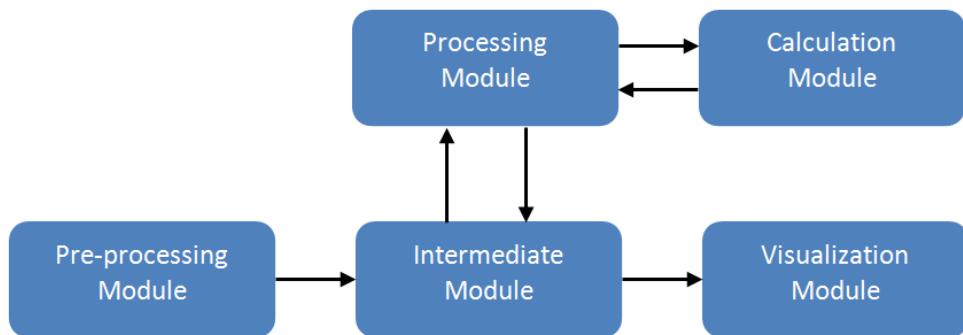


Figure 4 – Modules interaction

As a program support the ASP.NET MVC Framework was employed. The model-view-controller (MVC) pattern divides the application into three interconnected parts, so as to separate internal representations of information from the ways that information is presented to or ac-

cepted from users. The central component, the model, consists of the application data, business rules, logic and functions. The view can be any output representation of information, such as a chart or a diagram. The third part, the controller, accepts input and converts it to commands for the model or view. Table 1 represents how the system's modules are implemented through the components of the model, view and controller.

*Table 1 – The structure of the modules*

MVC Part	The pre-processing module	The intermediate module	The processing module	The calculation module	The visualization module
Model	No	No	Yes	Yes	No
View	Yes	No	No	No	Yes
Controller	Yes	Yes	No	No	Yes

Microsoft Visual Studio 2012 Professional was chosen as an IDE. C# was chosen as a programming language. As a web server the IIS Express was employed IIS Express is a lightweight version of IIS. It supports only HTTP and HTTPS protocols. Also, the LocalDB as the DBMS was selected. LocalDB is a minimal, on-demand, specialized edition of SQL Server. On the client side and as the GIS client the Google Maps API was used. Google Maps is a web mapping service application and technology provided by Google. This API provides the ability to integrate Google Maps to the third-party web sites and manage them by JavaScript, for example, adding markers, zoom the map, etc. Also, jQuery was used. It is a JavaScript library, which was designed for simplifying the client-side scripting of HTML.

The user interface of the application for the data input is shown on the Figure 5. The way of how the output information is displayed is presented on the Figure 6.

The application allows calculating the maximum pollutant concentration caused by a certain factory as well as the middle values of the concentrations at several points on the ground. The contamination area is shown by a color circle on the city map with the markers at the calculating places. Moreover, it is possible to assess the overall level of air pollution caused by a particular factory.

The figure shows a user interface for inputting environmental data. On the left, there are dropdown menus for 'Choose a city' (Усть-Каменогорск), 'Choose a factory' (Казцинк), 'Choose a source' (0001), and a section to 'Enter characteristics of the source' with fields for Gas Speed (9.57), Gas Volume (555.9039), Gas Temperature (45), and Air Temperature (28). Below this is a section to 'Choose a pollutant' (Диоксид серы SO<sub>2</sub>) with a field for Gas Mass (735.5). There is also a section to 'Enter the wind speed' with a Wind Speed input field. At the bottom are 'Add' and 'Calculate' buttons. On the right, a summary table displays data: City: Усть-Каменогорск Factory: Казцинк Source: 0001 Pollutant: Диоксид серы SO<sub>2</sub> Speed: 9.57 Volume: 555.9039 Gas Temperature: 45 Air Temperature: 28 Mass: 735.5 Wind Speed: 0. A 'Delete' button is also present.

Figure 5 – The user interface for the data input

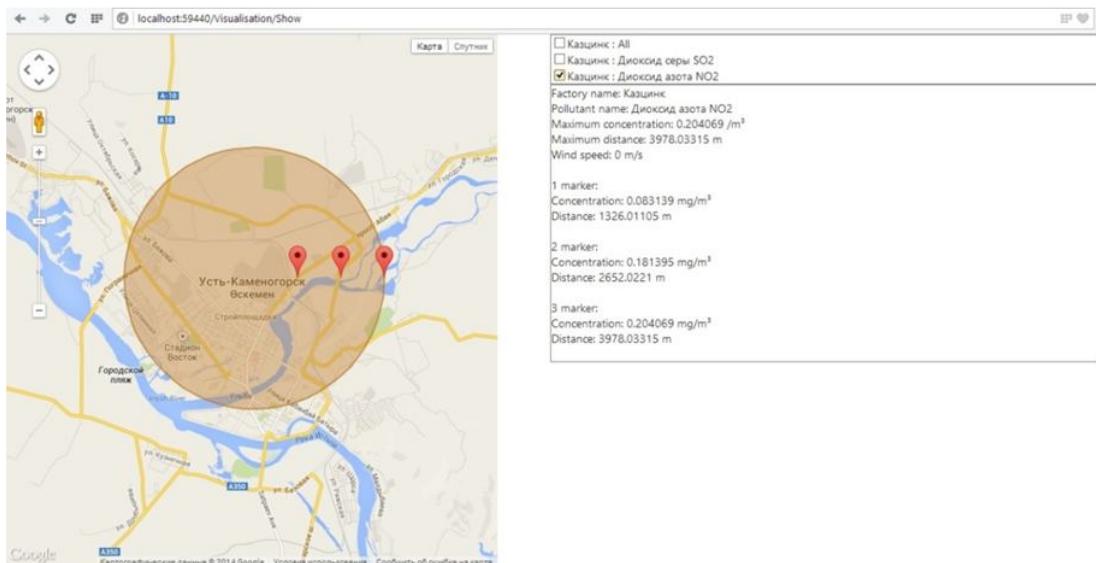


Figure 6 – The user interface for the output data

In such a way, the application presented in this article laid the foundation for the further development of the system of monitoring and control of the environment quality. Within the project implementation the programming tools needed for the GIS development were studied and successfully applied. The future work involves updating the database with data of the ecological and industrial monitoring, realization of the other methods of the air pollution control and forecast, enhancement of the user interface for the output data, etc.

#### References

- Ипалакова М.Т. Комплексная система учета и управления качеством окружающей среды. – Усть-Каменогорск: ВКГТУ, 2007. – 180 с.

2. GIS Market Support Association [<http://www.gisa.ru/13058.html>].
3. Maliene V., Grigoniene V., Palevicius V., Griffiths S. Geographic information system: Old principles with new capabilities // Urban Design International. - 2011. - № 16 (1). - pp. 1-6 [<http://www.palgrave-journals.com/udi/journal/v16/n1/full/udi201025a.html>].
4. GIS Lounge [<http://www.gislounge.com/>].

Получено 27.08.2015

---

УДК 628.9

**А.И. Квасов, А.Е. Бакланов, С.В. Григорьева**

Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева,  
г. Усть-Каменогорск

**МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ РАЗМЕЩЕНИЯ  
СВЕТОДИОДНЫХ ОСВЕТИТЕЛЕЙ ОФИСНЫХ ПОМЕЩЕНИЙ**

В настоящее время широкое распространение получили светодиодные осветительные системы, позволяющие значительно экономить электроэнергию, повысить качество и надежность освещения, а также осуществлять контроль и управление параметрами систем освещения. Переход к светодиодным светильникам требует нового подхода к проектированию всей системы освещения, и в частности к размещению осветительных приборов в офисных помещениях [1].

Главное требование, предъявляемое к системе освещения, – это обеспечение заданного уровня равномерной освещенности. При проектировании систем освещения необходимо учитывать нормы освещения. Основной целью нормирования освещения является эффективное использование энергетических ресурсов. Утвержденные нормы позволяют обеспечивать требуемые количественные и качественные показатели освещенности.

Рассмотрим задачу оптимизации размещения светодиодных осветительных приборов для равномерного освещения помещения. Для этого проводились исследования освещения офисного помещения с использованием светодиодных светильников (СДС) и люминесцентных ламп (ЛЛ) различной мощности от российских производителей. Основные расчеты выполнялись в программе DIALux 4.12Light, моделирование распределения освещенности осуществлялось в программе MATLAB R2012b.

Возможности программы DIALux 4.12 Light позволяют: проводить светотехнические расчеты методом коэффициента использования светового потока и точечным методом; определить оптимальное расположение светильников, оцениваемое по стандартному коэффициенту равномерности распределения освещенности с соблюдением ограничения в виде минимальной нормативной освещенности. Нахождение оптимального расположения осуществляется поисковым безградиентным методом решения оптимизационных задач – методом сканирования области изменения независимых переменных с ограничениями в виде неравенств. Метод сканирования заключается в последовательном просмотре значений целевой функции (в данном случае – значение коэффициента равномерности распределения освещенности) в ряде точек, принадлежащих области изменения независимых переменных (значения освещенности в контрольных точках), и нахождении среди них точек с минимальным значением целевой функции [2].

В данном исследовании рассматривается офисное помещение длиной 9 м, шириной 4 м и высотой 2,8 м. Значения освещенности определены на рабочей плоскости - 0,8 м от уровня пола. Нормативная освещенность помещения принимается 300 лк, что соответствует Б1 раз-

ряду зрительной работы с характеристикой зрительной работы высокой точности [3].

Для проведения исследования можно рассмотреть пять вариантов освещения офисного помещения, три из которых - с СДС, два - с ЛЛ. Необходимо отметить, что в первых четырех вариантах будут рассмотрены попарно варианты освещения с помощью СДС и ЛЛ с одинаковым значением светового потока для каждой сравниваемой пары. Это делается для проведения корректного сравнительного анализа количественных и качественных показателей системы освещения. В пятом варианте рассмотрено освещение помещения с нестандартным расположением комбинации СДС.

Для первого варианта оптимальное расположение светильников с расчетными значениями освещенности на рабочей плоскости показано на рис. 1. Коэффициент равномерности распределения освещенности на рабочей плоскости равен 0,519 при минимальном пороговом значении 0,300.

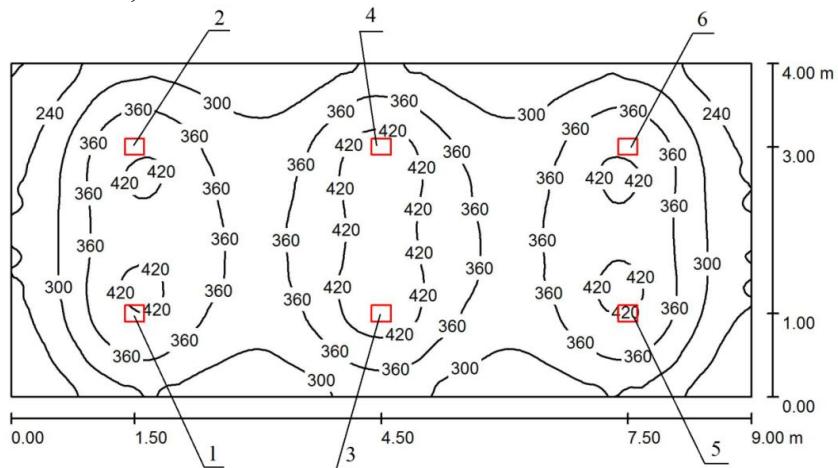


Рисунок 1 - Оптимальное расположение СДС

По карте освещенности в программе MATLAB построена модель распределения освещенности в пространстве помещения на рабочей плоскости (рис. 2).

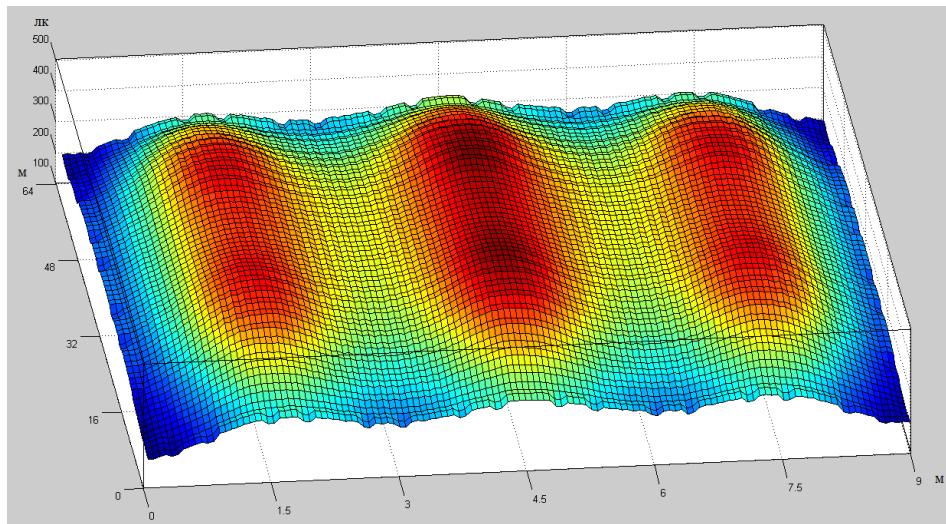


Рисунок 2 - 3D-модель распределения освещенности  
в пространстве помещения на рабочей плоскости

Сравнительный анализ рассчитанных показателей освещенности, создаваемой осветительными установками с различными источниками света, приведен в таблице.

*Сравнительная таблица вариантов освещения*

Характеристики светильника	СДС		ЛЛ	
	1 вариант	2 вариант	3 вариант	4 вариант
Наименование	PLANT 02-25-3000-31 (120)	PLANT 02-16-2400-26 (120)	DIAL 23 TCW 596S-158 I-D2 NB	DIAL 3 BS-158C900-Leuchte
Количество, шт.	6	8	6	9
Световой поток, лм	3120	2390	3174	2400
Общий световой поток, лм	18720	19120	19044	21600
Потребляемая мощность, Вт	31	26	65	58
Общая мощность, Вт	186	208	390	522
Коэффициент равномерности распределения освещенности	0,519	0,563	0,378	0,400
Среднеквадратическое отклонение	61,39	53,59	107,72	113,50

Рассмотренные варианты были со стандартным расположением светильников, однако интересно проверить, как изменится картина освещенности при несимметричном расположении осветительных приборов.

Опираясь на предыдущие расчеты, для обеспечения необходимого нормируемого значения освещения подобраны осветительные приборы:

- 4шт. - СДС PLANT 02-25-3000-31 (120) со световым потоком 3120 лм;
- 1шт. - СДС PLANT 02-16-2400-26 (120) со световым потоком 2390 лм;
- 4шт. СДС PLANT 02-16-2000-22 (120) со световым потоком 1980 лм.

Для данного варианта определены координаты расположения светильников (рис. 3).

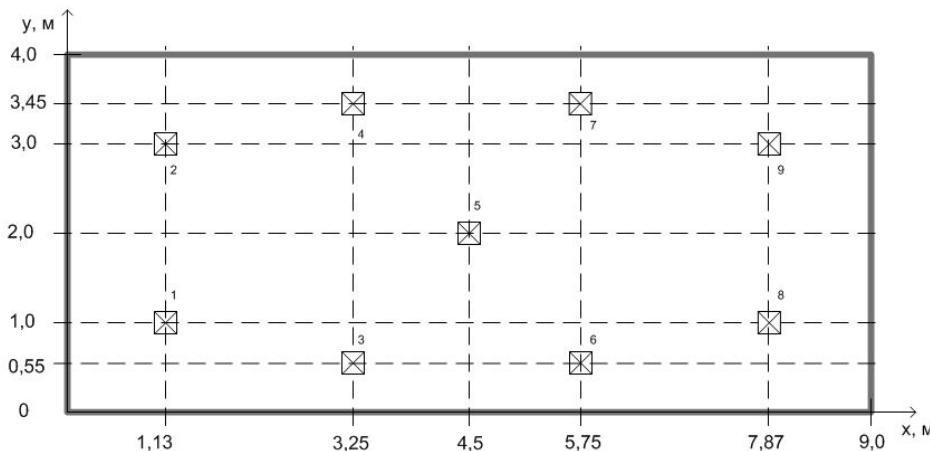


Рисунок 3 - Вариант размещения СДС различной мощности

Рассчитаны значения уровня освещенности в контрольных точках с учетом влияния соседних осветительных приборов, построена модель распределения освещенности в

пространстве помещения на уровне рабочей плоскости (рис. 4).

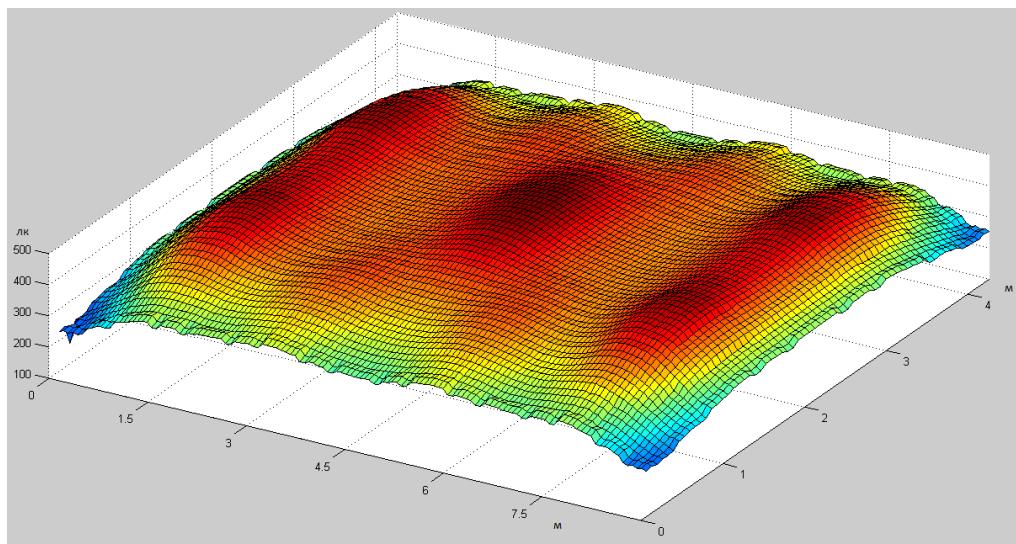


Рисунок 4 - 3D-модель распределения освещенности на рабочей плоскости

При данном варианте освещения практически отсутствуют «темные» пятна и наблюдаются небольшие участки повышенной освещенности. Из рисунка видно, что колебания интенсивности света на рабочей поверхности не превышают 10 %, что позволяет сказать о наиболее равномерном освещении рассматриваемых вариантов.

Для экспериментального исследования оптимального размещения СДС нами был разработан макет офисного помещения. Поскольку для освещения реального помещения общая потребляемая мощность осветительной системы составляет 186 Вт, то для освещения модели использованы светодиоды мощность 0,1 Вт (общая потребляемая мощность 0,6 Вт). Рассчитаны значения метрических параметров модели и координаты расположения светодиодов в пространстве модели помещения (рис. 5).

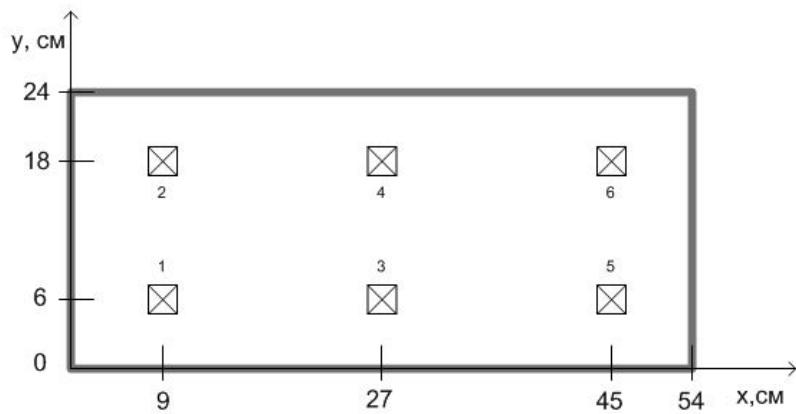


Рисунок 5 - Расположение светодиодов в пространстве модели помещения

Для проведения эксперимента разработана схема, состоящая из компонентов: модель

офиса, плата Arduino UNO с микроконтроллером ATmega328, камера и персональный компьютер (рис. 6).

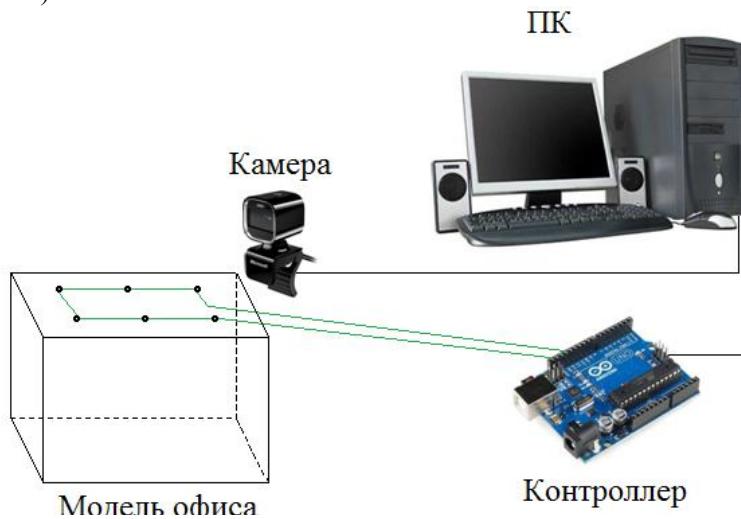


Рисунок 6 - Общая схема проведения экспериментов с моделью офиса

Плата Arduino UNO с микроконтроллером ATmega328 управляет уровнем напряжения светодиодов и необходима для выставления требуемой мощности и для обеспечения стабилизированного питания светодиодов [4]. Камера фиксирует картину освещения и передает изображение в персональный компьютер для дальнейшей обработки. Экспериментальная модель системы освещения помещения представлена на рис. 7.

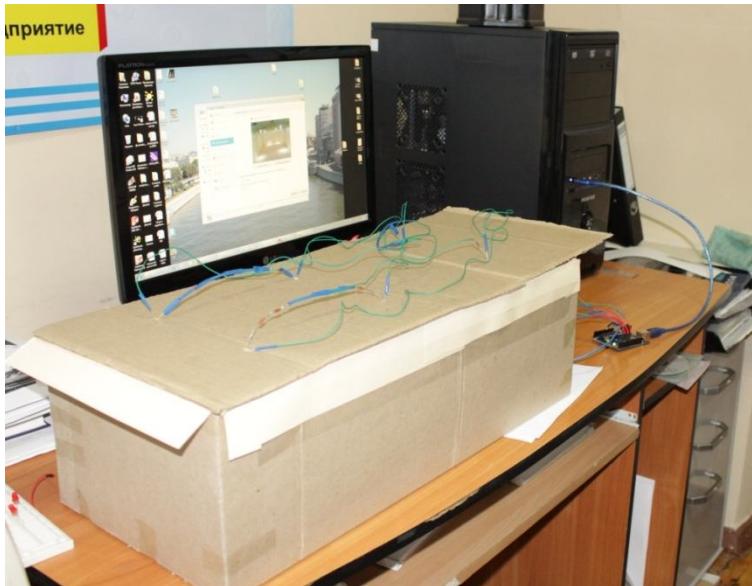


Рисунок 7 - Внешний вид экспериментальной модели

При проведении натурного эксперимента на модели с помощью камеры было получено изображение освещения (рис. 8), представленное в RGB (Red, Green, Blue) - цветовой

модели. Данное изображение подлежит обработке для определения значений освещенности в контрольных точках.

Так как RGB - цветовая модель, непосредственно не дает информацию об освещенности в точке рабочей поверхности, то выбрана более подходящая цветовая модель. HLS (Hue, Saturation, Lightness) – цветовая модель, в которой в качестве цветовых координат выступают: тон (H), изменяющийся в пределах [0; 360]; насыщенность (S), изменяющаяся в пределах [0; 1]; светлота (L), изменяющаяся в пределах [0; 255]. Интересующей характеристикой для исследования в цветовой модели HLS является слой L – светлота, который показывает значение освещенности в единицах от 0 до 255 [5].



Рисунок 8 - Освещение поверхностей экспериментальной модели

Переход из RGB модели в HLS модель осуществляется с помощью специального алгоритма [6, 7].

Обработка снимка осуществляется в программе Adobe Photoshop, а именно снимаются значения R, G, B в контрольных точках. Далее полученные значения каналов заносятся в таблицу MsExcel, в которой заложен разработанный нами алгоритм преобразования значений R, G, B в слой L. Производится перевод освещенности из интервала [0; 255] к относительным единицам. Данный перевод основан на следующем: так как известно, что R, G, B могут принимать максимальное значение, равное 255, что соответствует 1, то все полученные значения освещенности необходимо разделить на 255.

Следующим шагом является переход от относительных единиц к абсолютным значениям освещенности. Известно, что 1 – это максимально возможное значение освещенности. Максимально возможное значение освещенности может быть определено по показаниям люксметра, замеренным в точке, находящейся под одним из светодиодов. В проведенном эксперименте при общей мощности светодиодов, равной 0,6 Вт, максимальное значение освещенности, замеренное люксметром, равняется 33 лк, что соответствует 560 лк в масштабах реального офиса.

Завершающим этапом эксперимента является составление карты освещенности, со-

стоящей из найденных абсолютных значений освещенности в контрольных точках. Карта освещенности рабочей плоскости модели составляется для возможности визуализации распределения освещения и проведения сравнительного анализа теоретических исследований с результатами реального эксперимента.

3D-модель распределения освещенности в пространстве модели, полученная в экспериментальных условиях, показывает, что характер освещения не отличается от характера смоделированного освещения и имеет «волнообразный» вид (рис. 9). Коэффициент равномерности распределения освещенности, равный 0,79, в данном случае значительно больше значения первого варианта моделирования – 0,52, что говорит о наличии более сглаженной картины освещенности без явно выраженных пиков.

Следует отметить, что для более корректного сравнения значений освещенности реального помещения, рассчитанных в первом варианте освещения, и полученных данных в ходе эксперимента, значения освещенности модели офиса переведены в масштаб объекта-оригинала, т.е. в масштаб офисного помещения.

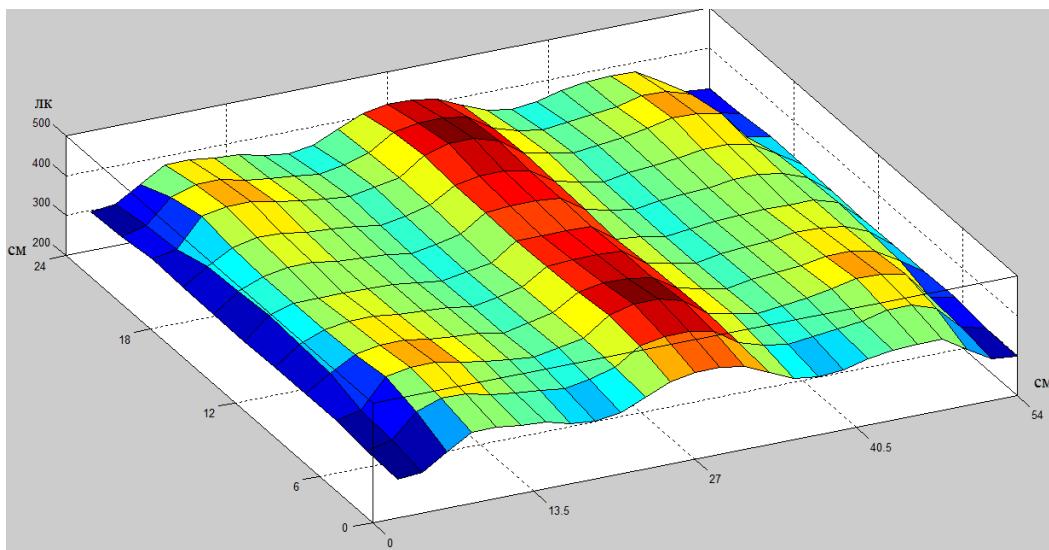


Рисунок 9 - 3D-модель распределения освещенности в пространстве модели на уровне рабочей плоскости

В результате проведенных модельных теоретических и экспериментальных исследований были получены достоверные (имеющие хорошее согласие между моделированием и экспериментом) результаты по оптимальному размещению светодиодных светильников в офисном помещении. Это позволяет использовать данную методику расчета оптимального размещения светодиодных светильников для помещений различной конфигурации. При дальнейшем внедрении светодиодной технологии в системах освещения предполагается принципиальное изменение архитектуры как элементов освещения, так и подходов к управлению осветительными системами. В таком случае предложенное моделирование на реальном макете позволит оперативно осуществлять расчеты по геометрическому положению элементов освещения.

#### Список литературы

1. DL Loe. «Energy efficiency in lighting – considerations and possibilities», Light-

- ing Research and Technology, vol.41, pp. 209-218, 2009:
- 2. Руководство пользователя. DIALux основные положения. - [Электрон.ресурс]. - 2009. - 19 с. - Режим доступа: <http://www.astz.ru/calc>.
  - 3. СН РК 2.04-02-2011. Государственные нормативы в области архитектуры, градостроительства и строительства. Естественное и искусственное освещение: Издание официальное / Агентство Республики Казахстан по делам строительства и жилищно-коммунального хозяйства. - Астана: РГП «КазНИИССА», 2011. - 102 с.
  - 4. The article: Arduino Uno. - [Электрон. ресурс]. - 2015. - Режим доступа: <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>.
  - 5. Celik T., Lilley C., David Baron L. CSS3 Color Module. - [Электрон. ресурс]. - 2008. - Режим доступа: <http://www.w3.org>.
  - 6. Hanbury A., Serra J. A 3D-polar Coordinate Colour Representation Suitable for Image Analysis // Pattern Recognition and Image Processing Group Technical Report 77. - Vienna, Austria: Vienna University of Technology, - 2002.
  - 7. Joblove G.H., Greenberg D. Color spaces for computer graphics // SIGGRAPH '78 Proceedings of the 5th annual conference on Computer graphics and interactive techniques. - ACM New York, NY, USA, 1978. - С. 20-25.

Получено 17.06.2015

---

УДК 004.424

**Т. Миргаликызы, Б.Г. Муканова**

Евразийский национальный университет им. Л.Н.Гумилева, г. Астана

**ПОСТРОЕНИЕ РАСЧЕТНОЙ СЕТКИ НА РЕЛЬЕФНОЙ ПОВЕРХНОСТИ  
ДЛЯ ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУР НЕОДНОРОДНЫХ СРЕД**

Основные численные алгоритмы решения современных научных и прикладных задач включают важный этап - разбиение расчетной области, где исследуются физические процессы, на мелкие стандартные элементы (четырехугольные, треугольные, тетраэдральные и другие) [1, 2]. Такие элементы называются ячейками, совокупность ячеек - сеткой, вершины сетки - узлами. На ячейках и узлах сетки выполняются: замена математической модели исследуемой среды и составление системы алгебраических уравнений, при численном решении которых находятся искомые характеристики изучаемой области.

На сегодняшний день существуют готовые библиотеки, программные комплексы, системы для построения расчетных сеток [3, 4]. Такие средства являются коммерческими и ориентированы на автоматическое построение расчетной сетки, используемые алгоритмы и методы в них зачастую скрыты от пользователя. Также они предназначены для большого класса задач и при задании особых условий модельной среды могут возникнуть трудности.

При решении прямых задач электроразведки постоянным током построение расчетной сетки является очень важным этапом. Качественно построенная расчетная сетка влияет на скорость вычисления задачи, точность результатов и на сходимость итерационного метода [5].

Для решения прямой задачи электрического зондирования постоянным током методом интегральных уравнений сетка строится для разбиения поверхности на ячейки, аппроксимирующие вторичные источники тока, дискретизации интегрального уравнения и для последующего решения системы линейных алгебраических уравнений. Основными условиями построения расчетной сетки в данной задаче являются: логарифмическое расширение от положения питающего электрода, наложение сетки на рельефную поверхность Земли и возможность перемещения питающего электрода по поверхности.

В работе [5] приведены сравнения результатов расчетов потенциала для равномерной

сетки и неравномерной сетки с логарифмически расширяющимся масштабом. Показано, что при расчете на неравномерной сетке, сгущающейся в окрестности питающего электрода, относительная точность расчета более высокая, чем на равномерной сетке. Для описания распределения плотности токов на поверхности мы создаем сетку с логарифмически расширяющимся масштабом по радиусу, адаптированную под положение питающего электрода и под форму рельефа поверхности. Изначально координаты узлов сетки определяются в полярной системе координат (рис.1), связанной с поверхностью (как если бы мы «развернули» рельеф в плоскость). Такой способ задания рельефа позволяет параметризовать рельефы сложной структуры, включающие вертикальные отвесы и даже выемки.

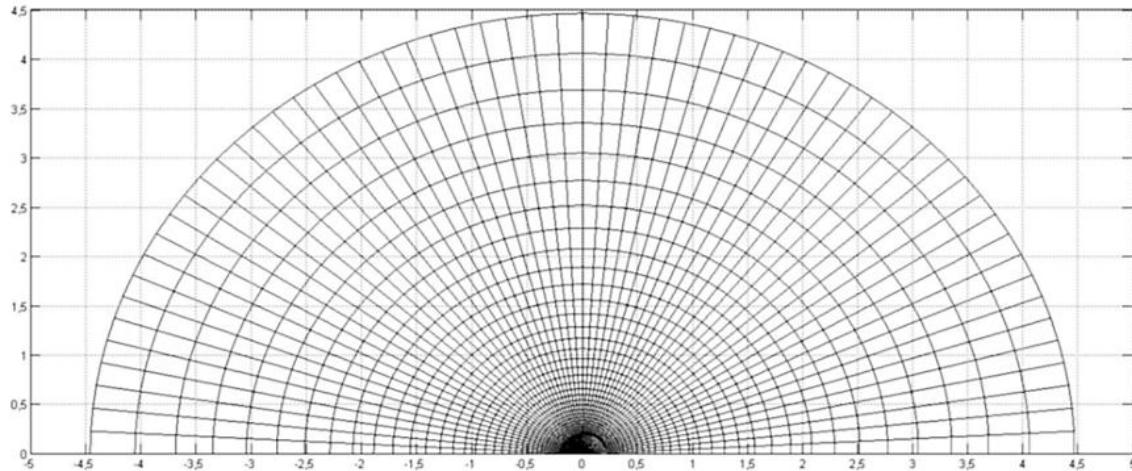


Рисунок 1 - Расчетная сетка в полярной системе координат,  
привязанной к поверхности

Для определения координат  $(\varphi_i, r_i)$  задаются начальные значения и шаги для каждой координаты  $(h\varphi, hr)$ . Шаг по углу определяется постоянным  $h\varphi = \text{const}$ , а шаг по радиусу - логарифмически расширяющимся. Логарифмически расширяющийся шаг по радиусу вычисляется путем замены переменных в области интегрирования  $\Gamma$ :  $r' = \ln(1 + r)$ . Полученные в полярной системе координаты  $(\varphi_i, r_i)$  пересчитываются в декартовые  $(q_i, y_i)$ , и вычисляются координаты узлов сетки  $(X_i, Y_i, Z_i)$  с учетом рельефа поверхности  $Z_i = f(X_i)$ . Координаты  $X_i$  находятся путем решения дифференциального уравнения  $\frac{dZ}{dq_i} = \frac{1}{\sqrt{1+f'(X_i)^2}}$  методом Рунге-Кутта.

Координаты  $Z_i$  определяются по функции рельефа поверхности  $z = f(x)$ . Функцию рельефа можно задавать аналитически. Например, для моделей рельефа поверхности в виде полусферической (полукруглой) выпуклости или выемки можно воспользоваться функцией  $z = \sin(x)$ , для среды в форме симметричного треугольника  $z = |x|$  и др. На рисунке 2 построена сетка по описанному алгоритму для функции рельефа  $z = |x|$ , когда  $0 \leq x \leq 4$ , и  $z = 0$ , когда  $0 > x > 4$ . Такой способ задания функции рельефа является очень удобным для выполнения расчетов, но на практике параметры рельефа определяются путем проведения экспериментов.

В методе вертикального электрического зондирования рельеф дневной поверхности определяется шагом по профилю (расстояние между электродами) и высотами приемных электродов, расположенных вдоль исследуемого профиля. Такое определение рельефа

позволяет составить некоторую таблицу значений функции. Высоты соответствуют значениям функции -  $z_j$  ( $j=1..k$ ), а соответствующие им значения аргумента -  $x_j$ , можно вычислить через значения шага по профилю. Основными методами аппроксимации функциональных зависимостей, заданных табличными значениями, являются методы интерполяции на основе сплайн-функций.

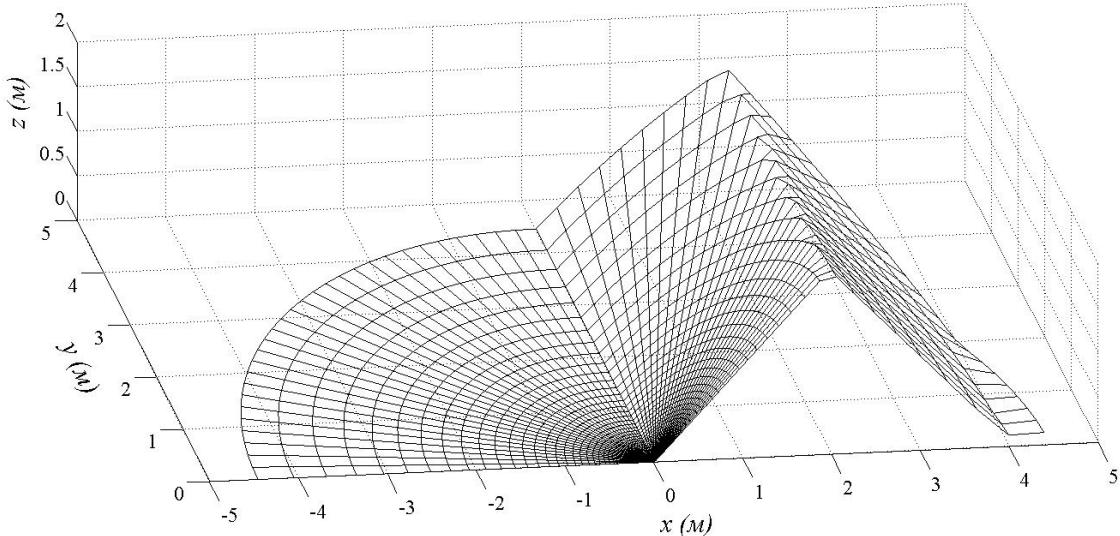


Рисунок 2 - Расчетная сетка в декартовой системе координат с учетом рельефа поверхности при функции рельефа  $z = |x|$ , когда  $0 \leq x \leq 4$ , и  $z = 0$ , когда  $0 > x > 4$

Для интерполяции значений в узлах сетки мы использовали кубический интерполяционный сплайн для функциональной зависимости  $z_j = z(x_j)$ ,  $j=1..k$ . Кубический сплайн представляет собой многочлен третьей степени на каждом из отрезков  $[x_j, x_{j+1}]$ ,  $j=1..k-1$ :

$$S_l(X) = z_l + b_l(X - x_l) + c_l(X - x_l)^2 + d_l(X - x_l)^3, \quad (1)$$

$$S_{k-1}(X) = z_{k-1} + b_{k-1}(X - x_{k-1}) + c_{k-1}(X - x_{k-1})^2 + d_{k-1}(X - x_{k-1})^3.$$

Коэффициенты  $b_j$ ,  $c_j$ ,  $d_j$  находятся по известным алгоритмам вычисления коэффициентов интерполяционного кубического сплайна [6]. После определения коэффициентов вычисляется интерполяционный кубический сплайн  $S(X)$  в искомой точке  $X$ .

Пошаговый алгоритм построения расчетной сетки на рельефной поверхности:

1. Составление таблицы значений функции:  $z_j = z(x_j)$ ,  $j = 1 .. k$ .
2. Расчет в полярной системе координат узлов сетки  $(\varphi_i, r_i)$ ,  $i = 1 .. N$ ,  $N = m \cdot n$ :

$$\varphi_j = \varphi_{(j-1)} + h\varphi, \quad \varphi \in [0; \pi], j = 1 .. m, h\varphi = \frac{\pi}{m},$$

$$r_k = (r_{(k-1)} + 1) \cdot e^{hr'}, \quad r \in [0; L], k = 1 .. n, hr' = \frac{\ln(1 + L)}{n}.$$

3. Пересчет полученных в полярной системе координат  $(\varphi_i, r_i)$  в декартовые  $(q_i, y_i)$ :

$$q_i = r_i \cdot \cos \varphi_i, \quad y_i = r_i \cdot \sin \varphi_i.$$

4. Вычисление координат функции рельефа  $(X_i, Y_i, Z_i)$ :

$$\frac{dZ}{dq_i} = \frac{1}{\sqrt{1 + S'(X_i)^2}}, \quad Z_i = S(X_i), \quad i = 1 .. N,$$

$$S(X_i) = z_j + b_j(X_i - x_j) + c_j(X_i - x_j)^2 + d_j(X_i - x_j)^3, \quad X_i \in [x_j, x_{j+1}], \\ j = 1 \dots k-1.$$

В таблице приведены данные, полученные экспериментальным путем, которые можно рассматривать в виде табличной функции  $z_j = z(x_j)$ , где,  $x_j$  - значения аргумента,  $z_j$  - значения функции,  $j=1..32$ . График таблично заданной функции изображен на рис. 3. На рис. 4 построена сетка по описанному алгоритму для табличных значений функции.

*Табличные значения функции  $z_j = z(x_j)$*

J	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$z_j$	0	0	0,05	0,1	0,16	0,28	0,49	0,79	1,58	1,97	2,1
$x_j$	0	0,145	0,29	0,435	0,58	0,725	0,87	1,015	1,16	1,305	1,45
J	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
$z_j$	1,91	1,685	2	2,055	2,13	2,32	2,595	2,72	2,43	2,245	2,195
$x_j$	1,595	1,74	1,885	2,03	2,175	2,32	2,465	2,61	2,755	2,9	3,045
J	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	
$z_j$	2,175	1,975	1,5	1	0,7	0,5	0,3	0,1	0	0	
$x_j$	3,19	3,335	3,48	3,625	3,77	3,915	4,06	4,205	4,35	4,495	

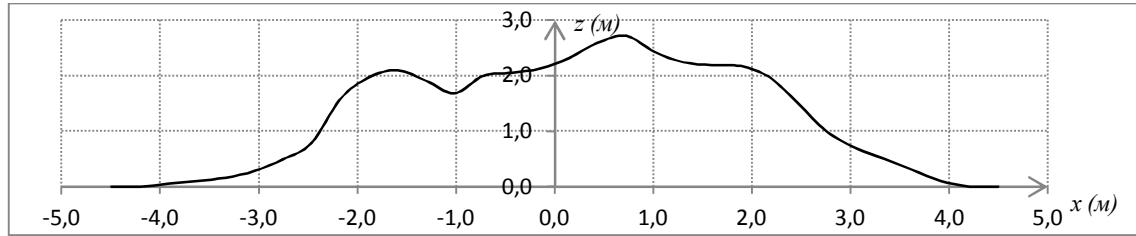


Рисунок 3 - График таблично заданной функции

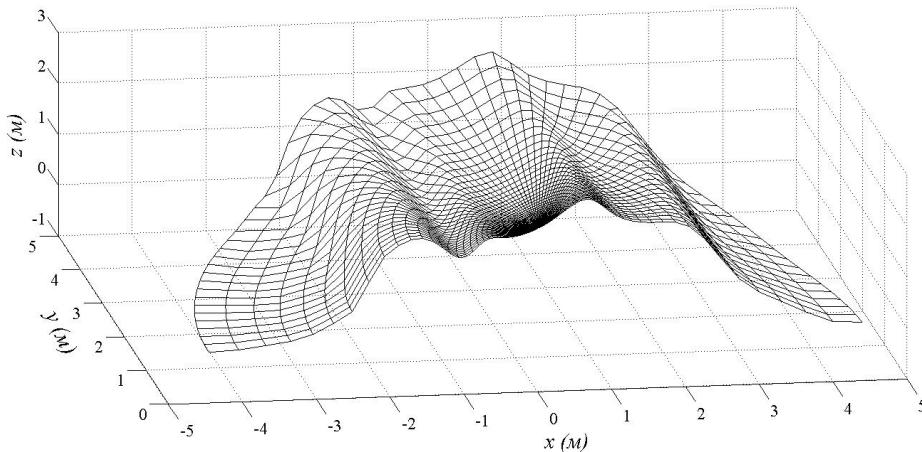


Рисунок 4 - Структурированная сетка на рельефной дневной поверхности, построенная на экспериментальных данных

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы. Разработан алгоритм и создана компьютерная программа для автоматического построения расчетной сет-

ки на реальном рельефе дневной поверхности. Представленный метод построения расчетной сетки можно применять не только на поверхностях, но и в исследованиях слоисто-затекающих сред со сложной геометрией контактирующих границ. С использованием разработанного алгоритма решена прямая задача электроразведки постоянным током в условиях осложненного рельефа поверхности земли [7]. Разработанный алгоритм является первым шагом на пути к созданию технологии автоматического построения расчетных сеток для решения геофизических задач.

Работа поддержана грантом МОН РК договор № 46 от 12.02.2015 г.

Список литературы

1. Данилов А.А. Способы построения трёхмерных поверхностных триангуляций и тетраэдальных сеток // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. - 2010. - Т. 65. - № 1. - С. 87-92.
2. Чугунов В.Н. Алгоритм построения конформной квази-иерархической треугольной сетки, слабо δ-аппроксимирующей заданные ломаные // Выч. мат. и мат. физ. - 2009. - Т. 49. - № 5. - С. 874-878.
3. <http://geuz.org/gmsh/>
4. <http://www.hpfem.jku.at/netgen/>
5. Орунханов М.К. Численная реализация метода потенциалов в задаче зондирования над наклонным пластом / М.К. Орунханов, Б.Г. Муканова, Б.К. Сарбасова // Труды Совещания российско-казахстанской рабочей группы по вычислительным и информационным технологиям: Спец. выпуск. - 2004. - Т. 9.
6. Самарский А.А. Численные методы / А.А. Самарский, А.В. Гулин. - М.: Наука, 1989.
7. Balgaisha Mukanova, Tolkyn Mirgalikyzy «The Solution of the Direct Problem of Electrical Prospecting with Direct Current under Conditions of Ground Surface Relief», World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Environmental, Ecological, Geological and Geophysical Engineering. - Vol. 9. - No. 4. - 2015. - P. 234-237.

Получено 4.09.2015

---

УДК 621.38

**И.Т. Утепбергенов, А.О. Утегенова, А.К. Муслимова**

Институт информационных и вычислительных технологий, г. Алматы

**АВТОМАТТАНДЫРЫЛҒАН БАСҚАРУ ЖҮЙЕСІНІҢ АҚПАРАТТЫҚ ИНФРАҚҰРЫЛЫМЫН  
ВИРТУАЛДАНДЫРУ**

Кәсіпорындар үшін виртуалды IT инфрақұрылымға көшу аутсорсинг және «бұлтты» есептеу моделіне көшу жолындағы маңызды қадам болуы мүмкін. Шынында да, корпоративтік IT-инфрақұрылымы ішінде виртуалды машиналардың оңай қозғалысын қамтамасыз ету арқылы, осы виртуалды машинаны тыс бір жерге, бұлтқа, жіберуге болады.

Технологиялық процестерді автоматтандырылған басқару жүйесінің (ТПАБЖ) қазіргі заманғы 3 түрі [1-3] бар:

1) тәменгі деңгей – параметрлер мен қорғау жабдықтарын өлшейтін датчиктер деңгейі;

2) орташа деңгей - технологиялық басқарудың кіші деңгейі, артық транзисторлардағы логикалық контроллерлер болып табылатын орталық бөлігі, мысалы SIMATIC S7-400N (SIEMENS) және артық стансиялары және тәменгі деңгейден ақпараттарды жинау және өндеді орындайтын ET200M (SIEMENS);

3) жоғарғы деңгей - қашықтан басқару жетегін жузеге асыруға жедел басқару циклі деңгейі, анықтамалық өзгерту режимдерін кіші басқару, мониторлар туралы ақпаратты

қамтамасыз ету, дыбыстық және жарықтық сигнал технологиясы, ұзак мерзімді және қысқа мерзімді деректер мен мұрағаттар құралдары және т.б.

Талдау қазіргі уақытта виртуалдандыру инфракүрылымды «бұлтты» шешімдерді пайдалану барған сайын танымал болып келе жатқандығын көрсетеді. Нарықтың ТПАБЖ виртуалдандыру компоненттері бойынша қызмет көрсетудің өте кең ауқымын ұсынып отырғанына қарамастан, бізге тұтас технологиялық басқару жүйелері үшін ешқандай кешенді шешім берген жоқ. Сондықтан осы жұмыстың мақсаты бұлтқа негізделген кешенді шешімдерді ақпараттық инфракүрылым ТПАБЖ аудару мүмкіндіктерін зерттеу болып табылады.

Осы мақсатқа жету үшін келесі міндеттер талап етіледі:

- 1) ТПАБЖ-ның әртүрлі деңгейлері үшін күмәнді шешімдерді талдау;
- 2) ТПАБЖ-ның күмәнді шешімдерін жүзеге асыру үшін «тар» орындарды анықтау;
- 3) ТПАБЖ –ды бұлтқа көшіру үшін кешенді шешімді жүзеге асыру.

Виртуалдандыру және бұлттағы ТПАБЖ-ның жоғарғы деңгейге көшірілуі үшін кең таралған бұлтты сервер сәйкес келеді. Корпоративтік инфракүрылым бұлтқа көшіруге арналған сенімді құрал. Ол клиенттердің талаптарына оңай бапталады және салыстырмалы қысқа уақыт ішінде пайдалануға дайын. Осылайша клиенттерге жад және өндөу қуаты кепілдік берілген мөлшерін алады. Тарификация қызметі бос тұрып қалmas үшін артық қызметтен босататын нақты тұтыну үшін жасалады.

Осылайша, күмәнді шешімдер АБЖ АТ-инфракүрылымының құнын онтайландырады.

Виртуалды машиналар жұмыс істеу үшін дербес компьютер, планшет немесе ұялы телефоннан интернетке қол жеткізуі қамтамасыз ету жеткілікті. Жабдықтар жабдықтардың алдын алу үшін барлық қажетті инженерлік жүйелермен жабдықталған деректер орталығында орналасқан.

Нақты анықталған жүйелік рөлдер, оған қоса сервердегі деректердің физикалық орналасуы сыртқы коршаған ортаға манызды деректердің ағуын болдырмаудан сақтайды.

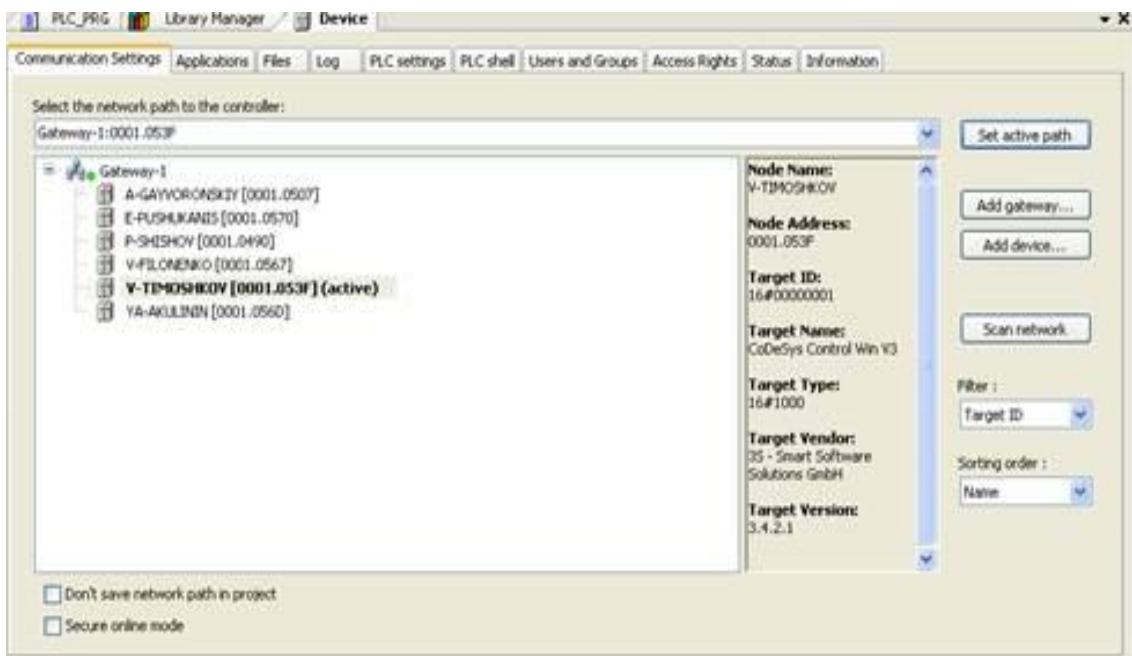
Органғы деңгейде ТПАБЖ-ның бағдарламалық-техникалық кешенінің негізін резервтегі бағдарламаланатын логикалық контроллерлер мен резервтік станциялар құрайды. Орта деңгейдегі пайдаланылатын ТПАБЖ микроконтроллер үшін Cloud Solutions [8,9], виртуалды контроллер CoDeSys 3 пайдалануға мүмкіндік береді. Ол CoDeSys 3 бағдарламалау ортасымен орнатылады және *Gateway*-сервер арқылы іске қосылады. *Gateway*-сервер автоматты түрде жүйені іске қосқанда қызметі басталады. Ол сондай-ақ бағдарламалар мәзірін PLC (CoDeSys SP Win V3) бастап іске қосуға болады. Виртуалды контроллерді таңдау және қосу үшін жоба ағашында Device (CoDeSys SP Win V3) еki рет басу арқылы Communication settings вкладкасы бар PLCWinNT диалогы ашылады (1-сурет).

Виртуалды контроллер бағдарламаны сынауға ғана емес, сонымен қатар сыртқы құрылғыларды қосу үшін мақсатты платформа ретінде және дербес компьютердің Сom порты арқылы олармен әрекеттесуге пайдаланылады.

Виртуалдандыру және төменгі деңгейдегі ТПАБЖ-ның бұлтты шешімдері автоматтандырылатын нысанның құрылуы бағдарламалы симуляторға негізделген және ТПАБЖ жобалар тестілеу мен зерттеу мақсаттарында қажет.

Осы шешімдерді іске асыру үшін, кейбір компаниялар PLC өндірушілері кіріс сигналдарының бағдарламалық модельдеуі үшін құралдар ұсынады. Мысалы, STEP7 бағдарламалау ортасы арқылы Siemens контроллері нақты PLC сигналының кез келген мәнін (кушіне) сұрауға мәжбүр болуы мүмкін. Симулятор контроллерді қолдану барысында кіріс сигналы графикалық интерфейс арқылы орнатылады.

ТПАБЖ нысанының кейде ағылшын деректері бойынша Factory Acceptance Test (FAT) simulator (зауыттық қабылдауға арналған симулятор) деп аталатын бағдарламалық симуляторлары бар және оларды модельдеу сенімділігі дәрежесі бойынша оларды жіктеуге болады. Негізі осындай симуляторлардың жасалуы туралы ақпараттар өте аз. Негізінен Matlab + Simulink, LabVIEW пайдаланылады, ал кейбіреулер PLC арқылы симуляцияны жүзеге асырады. WinMOD, Mynah Mimic, Siemens SIMIT, APROS сияқты арнайы әзірлеу құралдары бар.



1-сурет - Белсенді басқару құралын таңдау

Әзірлеу үшін прототип ретінде тез таралатын әмбебап платформа болып табылатын «Process Simulator» таңдалды [10].

Симулятор ТПАБЖ-да жасалып жатқан бағдарламалық қамтамасыз ету тестілеуі үшін және технологиялық операторларды дайындау үшін қолданылуы мүмкін.

Платформа тестілеу жүйесімен байланыс орнату үшін аппараттық және бағдарламалық қамтамасыз етуді жүзеге асыратын конфигурация күруға мүмкіндік беретін DA OPC интерфейсін қолдайды.

Кеңседегі басқару жүйесін тексеру процесін автоматтандырудың негізгі проблемасы - тестілеудің автоматтандыру нысанының жүргізілетіндігінде. Сонымен қатар кейбір жағдайлар қауіпсіздігі бағасының және т.б себептері бойынша нақты нысанға модельденіу мүмкін болмайды.

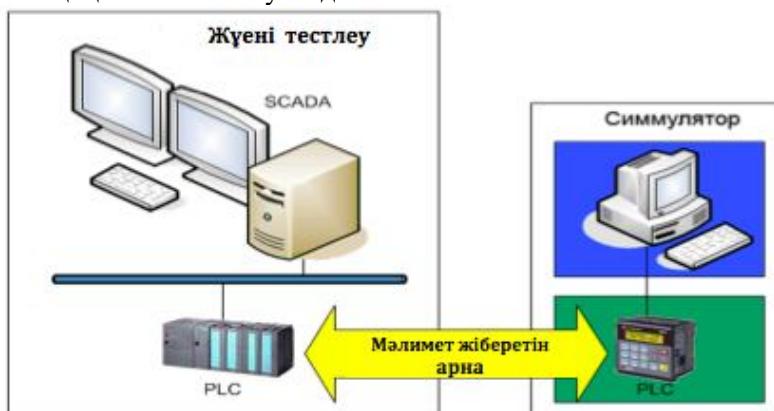
Осылайша, ТПАБЖ құрылышын жүзеге асырудың 2 негізгі жолы бар: аппараттық және бағдарламалық – симулятор.

Аппараттық құралдарды виртуалдандыруда тестілеу жүйесінің физикалық арналары симуляторға «кіріс арнасы шығыс арнасына» принципі бойынша қосылады немесе көрісінше (2-сурет).

Бұл суретте модельдеу логикасы PLC-ны іске асыру жолы ретінде және пайдаланушы

интерфейсі ретінде SCADA жүйесі үшін HMI пакеті алынды. Соңдықтан аппараттық симулятор автоматтандыру жүйесін немесе бірнеше тәуелсіз кіші жүйешелерден тұратын жүйелерді тестілеуге сәйкес келеді.

Математикалық қамтамасыз ету моделі.

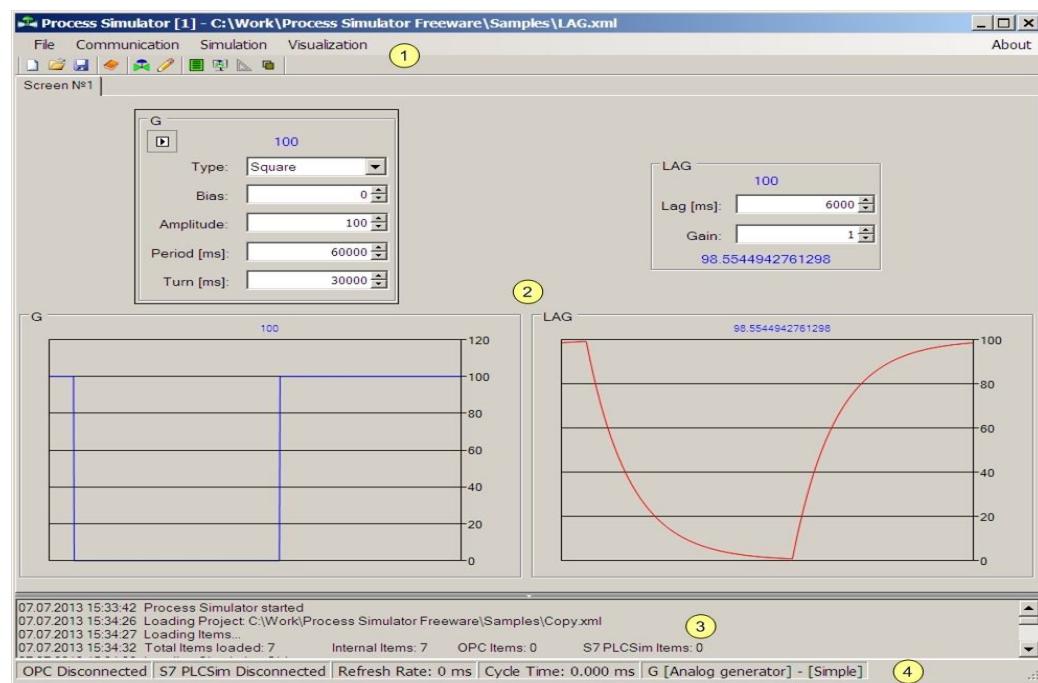


2-сурет - Тестілеу жүйесінің симуляторға қосылуы

Пайда - тексеру жүйесінің аппараттық және бағдарламалық қамтамасыз етілуі, сонымен бірге кіріс / шығыс сигналдары үшін арналар бір мезгілде тексеріледі.

Платформаның пайдаланушы интерфейсі - негізгі меню және ең жиі пайдаланылатын функциялары бар күралдар тақтасы (3-сурет). Негізгі мәзір функциялары:

- *File* - жасау, сақтау және тиесу модельдеу жобасы;
- *Communication* - OPC DA қызметімен және Siemens SIMATIC S7PLCSim қолданбасымен қосылған элементтер коллекциясын басқару;
- *Simulation* – модельдеу объектісінің коллекциясын басқару, модельдеу параметрлерін бақылау.
- *Visualization* - экрандарды құру және жою, графикалық басқарудың модельдеу нысаны.



3-сурет - Платформаның пайдалануышы интерфейсі

Модельдеу нысанының әрбір жаңа данасының бірегей аты бар. Кез келген данасы өшірілуі мүмкін немесе оның қызметтері имитатор негізгі нысанын өндеуді тоқтатқан жағдайда өзгеруі мүмкін.

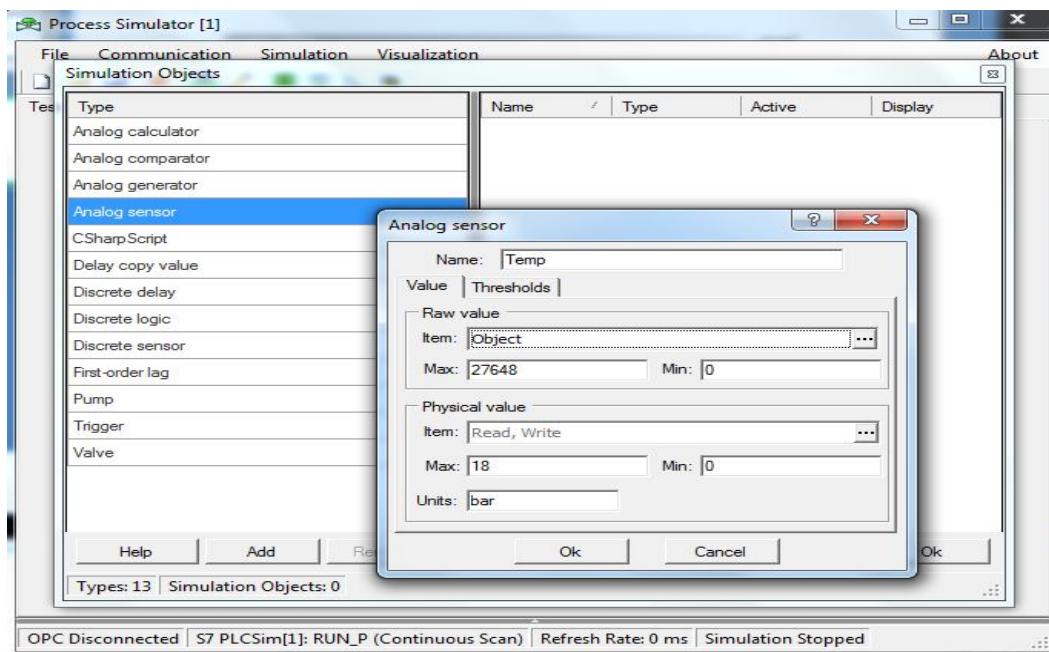
Модельдеу нысаны үшін аналогтық мәндерді өзгертуге және көрсетуге арналған аналогтық датчик таңдалды. Бұл түрлендіру жеке санына (масштабтау) және көрісінше кодына жүзеге асырылады. Аналогтық датчикті модельдеуді үйымдастыру үшін мынадай бағдарламалық қамтамасыз ету керек болады:

- SIEMENS SIMATIC STEP 7 Professional Edition 2010/08 + PLCSIM;
- Process Simulator.

«Process Simulator» іске қосқаннан кейін бағдарлама интерфейсінде жоба жасалады. 4-суретте (Simulation->Simulation Objects) менеджерінің көмегімен аналогтық датчиктің симуляция нысанының жасалу процесі көрсетілген.

Айнымалыларды құруға бірден кірісуге болады (Item->Items Dictionary):

- “Sin” - бастапқы синусоидалы сигнал;
- “Positive” - пульстің сигнал түрлендіргеннен кейінгі мәні;
- “Filter” - сүзгіні тегістегеннен кейінгі нәтиже.



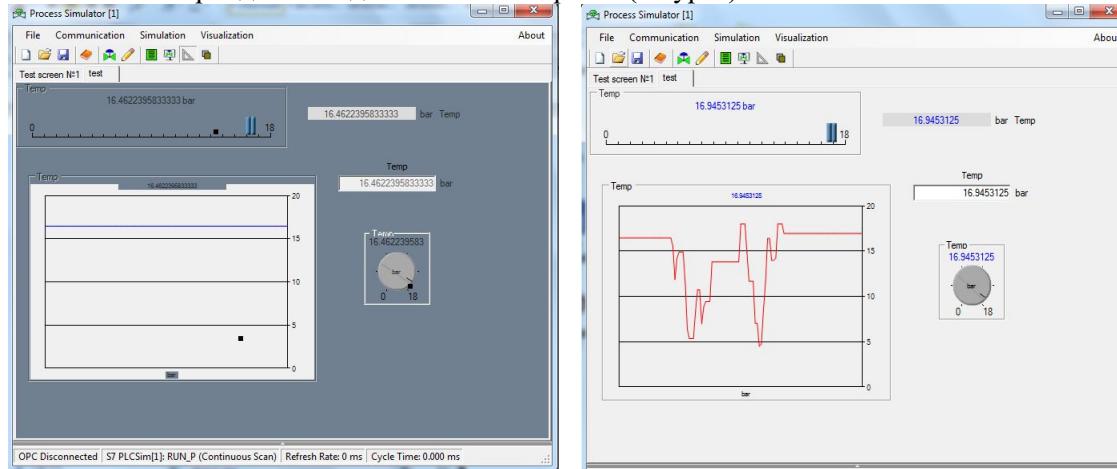
4-сурет - Жасанды нысанды таңдау және оның параметрлерін енгізу

Ішкі айнымалылар модельдеу нысандардың арасындағы қарым-қатынас үшін пайдаланылады.

Ең алдымен бізге керегі бастапқы синусоидалы сигнал.

Аналогтық датчик нысанын құрамыз - “Analog sensor” және оны “Sin” айнымалысана бағыттаймыз.

Пайдаланушы интерфейсін іске асыру үшін біз күрган нысандар (Visualization->Add ViewControl) (6-сурет) көрінетін экранды құрып алуымыз керек (Visualization->Add Screen). Бірнеше көмекші нысандарды қосқаннан кейін және көріністерді орналастырғаннан кейін экранда келесідей нәтижені көреміз (7-сурет).



6-сурет -Модельдеу нысанының визуализациясы

7-сурет – Модельдеу нәтижесі және микропроцессор (S7-PLCSIM) симуляторына

сигналды жіберу

Осылайша, ТПАБЖ төменгі деңгейінде виртуалды нысан алынды және зерттеуге дайын.

Берілген ғылыми-зерттеу жұмыстарының нәтижесі Алматы энергетика және байланыс университетінің «Инженерлік кибернетика» кафедрасының оқу процесіне енгізілді. Іске асыру туралы акті бар.

Шығатын қорытынды:

- 1) технологиялық процестерді автоматтандырылған басқару жүйесінің (ТПАБЖ) З түрінде бұлттық өзгертуге техникалық мүмкіндіктер бар, анықталған;
- 2) автоматтандырылған объектіні (ТПАБЖ-ның төменгі деңгейінде) виртуалдандыру және бұлттық есептеуге көшіру есепті тестілеу және ТПАБЖ-ны зерттеуде керек және мақсатты;
- 3) бүгінгі күнде ТПАБЖ үшін комплексті бұлттық шешімнің жоқтығы, осы зерттеудің маңыздылығын растайды;
- 4) құрылғының аналогты нұсқасында ТПАБЖ-ның төменгі деңгейінің виртуалды моделін жасау үшін платформа тандап алған және зерттелген;
- 5) ғылыми-зерттеу жұмыстарының шешімдері оқу процесіне енгізілген.

Әдебиеттер

1. Бородин И.Ф. Автоматизация технологических процессов. - М., 2007.
2. <http://www.lanitnn.ru/page/406.html>.
3. Советов Б.Я. Теоретические основы автоматизированного управления. - М., 2006.
4. <http://www.intel.ru/content/www/ru/ru/cloud-computing/hybrid-cloud>.
5. <http://selectel.ru/services/cloud/>.
6. Схиртладзе А.Г. Технологические процессы автоматизированного производства. - М.: Академия, 2011.
7. Рудинский И.Д. Технология проектирования автоматизированных систем обработки информации и управления. - М.: Горячая линия-Телеком, 2011.
8. <http://plc24.ru/rabota-s-virtualnym-kontrollerom-codesys-3>.
9. Предко М. PIC - микроконтроллеры: Архитектура и программирование. - М.: ДМК Пресс, 2009.
10. Симулятор для тестирования ПО АСУТП: Пример <http://habrahabr.ru/post/151125>.

Получено 16.06.2015