

Введение Данная статья является продолжением работы, результаты которых были опубликованы ранее [1-5]. Перед нами стояла задача определить комплекс таких показателей (мы называли их реперными), учитывая которые можно минимизировать различия между городами-объектами и городами-эталоном. Суть подобной коррекции состоит в том, чтобы модифицировать работу нейросети с учетом конкретных условий, отличных от тех, на которых она была обучена. Расчетная часть В результате анализа методических и аналитических материалов, были выделены следующие показатели: расположение промышленных и жилых зон относительно друг друга и розы ветров, расстояния, разделяющие промышленные и жилые зоны (ширина буферных зон, площадь города или его протяженность относительно направления преобладающих ветров, площади зеленых зон и лесопарковых массивов и т.д.), этажность и плотность застройки. На первом этапе решения данной задачи необходимо было проанализировать величины и зависимость от скорости и направления ветра фоновых концентраций всех доступных для измерения загрязняющих веществ (ЗВ) в воздухе на границе санитарно-защитной зоны Нижнекамского промышленного узла. Средние многолетние значения метеорологических показателей и другие специализированные климатические характеристики получены с помощью программы обработки режимной метеорологической информации ПЕРСОНА-МИС. Параметры, определяющие потенциал загрязнения атмосферы: коэффициент А, зависящий от температурной стратификации атмосферы (коэффициент, учитывающий неблагоприятные условия вертикального и горизонтального перемешивания) составляет 160; повторяемость приземных инверсий, % (по данным АС Казань) – 46; мощность приземных инверсий, км (по данным АС Казань)– 0.32; повторяемость скорости ветра 0-1 м/с, % – 10. Все показатели концентраций ЗВ (суммарное содержание) были приведены к их максимальному значению, в результате получен ряд коэффициентов, отражающий распределение загрязнения относительно направления ветра, вида: $K_{\text{ветра}} = \sum ZV_{\text{ветра}} / \sum ZV_{\text{max}}$. Нами были рассчитаны коэффициенты, корректирующие нейросеть с условием расположения промышленной зоны относительно «розы ветров». При этом для условия штиля (скорость ветра менее 2 м/с, при любом его направлении) принимается значение коэффициента $K_{\text{штиль}}=0,872$. Установлено, что максимальных значений концентрации ЗВ в воздухе достигают при ветрах ЮВ направления. Итоговым алгоритмом для коррекции работы нейросети с учетом расположения промзон, относительно преобладающих ветров, явился следующий: С помощью статистического пакета Statistica подобрана полиномиальная функция (рис. 1): $K_{\text{ветра}} = 0,8692 + 0,0018 \cdot x - 6,6432 \cdot 10^{-6} \cdot x^2$ где X - румб расположения контрольной точки, относительно промышленной зоны (предполагаемого источника загрязнения) за 0 принят север и далее по часовой стрелке, $K_{\text{ветра}}$ – коэффициент коррекции. При этом для условия штиля (скорость ветра 0-2 м/с,

при любом его направлении) принимается рассчитанное ранее значение коэффициента $K_{ветра}=0,872$. Следующей, важнейшей частью на данном этапе исследования, явилось определение и расчет реперных показателей в черте города, обладающих репрезентативностью по отношению к таким характеристикам как удаленность жилых зон от центров загрязнения, плотность и этажность их застройки. Вопрос этот чрезвычайно сложный, так как каждый город обладает своими архитектурно-строительными особенностями, уникальной инфраструктурой, историческими и социально-экономическими традициями. Однако, существует ряд признаков, по которым можно провести четкое сравнение городов и которые отражены, либо используются в качестве входных данных при расчетах в различных нормативах, например, в [6].

Рис. 1 - Полиномиальная модель расчета коэффициента коррекции по ветру В частности, для предварительного определения общих размеров жилых зон допускается принимать укрупненные показатели в расчете на 1000 чел.: в городах – при средней этажности жилой застройки до 3 этажей – 10 га для застройки без земельных участков и 20 га – для застройки с участком; от 4 до 8 этажей – 8 га; 9 этажей и выше – 7 га; в сельских поселениях с преимущественно усадебной застройкой – 40 га. Для районов севернее 58^о с.ш., а также климатических подрайонов IA, IB, IG, ID и IIA (СНиП 23-01-99) указанные показатели допускается уменьшать, но не более чем на 30 %. Тип и этажность жилой застройки определяются в соответствии с социально-демографическими, национально-бытовыми, архитектурно-композиционными, санитарно-гигиеническими и другими требованиями, предъявляемыми к формированию жилой среды, а также возможностью развития инженерной инфраструктуры и обеспечения противопожарной безопасности, но в целом повышение этажности домов сопровождается снижением размеров жилых зон на каждую 1000 жителей, но резко изменяет городской рельеф, препятствуя перемещению и изменяя распространение приземных воздушных масс. В состав жилых зон могут включаться: 1) зона застройки многоэтажными жилыми домами (6 этажей и выше); 2) зона застройка среднеэтажными жилыми домами (3-5 этажей); 3) зона застройки блокированными малоэтажными жилыми домами (1-2-х этажа) с приквартирными земельными участками; 4) зона застройки многоквартирными индивидуальными жилыми домами с приусадебными земельными участками. 5) Смешанные зоны формируются в сложившихся частях городов, как правило, из кварталов с преобладанием жилой и производственной застройки. В составе этих зон допускается размещать: жилые и общественные здания, учреждения науки и научного обслуживания, учебные заведения, объекты бизнеса, промышленные предприятия и другие производственные объекты (площадь участка, как правило, не более 5 га) с не пожароопасными и невзрывоопасными производственными процессами, не создающие шума, вибрации, электромагнитных и ионизирующих излучений, загрязнения атмосферного

воздуха, поверхностных и подземных вод, превышающих установленных для жилой и общественной застройки норм, не требующие устройства санитарно-защитных зон более 50 м, подъездных железнодорожных путей, а также не требующие большого потока грузовых автомобилей (не более 50 автомобилей в сутки в одном направлении). Основными показателями плотности застройки являются: Коэффициент застройки - отношение площади, занятой под зданиями и сооружениями к площади участка (квартала); Коэффициент плотности застройки - отношение площади всех этажей зданий и сооружений к площади участка (квартала). Для городских поселений плотность застройки участков территориальных рекомендуется принимать не более приведенной в табл. 1.

Таблица 1 - Показатели плотности застройки участков территориальных зон

Территориальные зоны	Коэффициент застройки	Коэффициент плотности застройки
Жилая зона :		
Застройка многоквартирными многоэтажными жилыми домами	0,4	1,2
То же - реконструируемая	0,6	1,6
Застройка многоквартирными жилыми домами малой и средней этажности	0,4	0,8
Застройка блокированными жилыми домами с приквартирными земельными участками	0,3	0,6
Застройка одно-двухквартирными жилыми домами с приусадебными земельными участками	0,2	0,4
Общественно-деловая зона :		
Многофункциональная застройка	1,0	3,0
Территориальные зоны	Коэффициент застройки	Коэффициент плотности застройки
Специализированная общественная застройка	0,8	2,4
Производственная зона		
Промышленная	0,8	0,6
Научно - производственная *	0,6	2,4
Коммунально-складская	1,0	1,8

*) без учета опытных полей и полигонов, резервных территорий и санитарно-защитных зон. При первом приближении, и Казань и Нижнекамск можно в целом отнести к специализированной общественной застройке, с коэффициентом застройки равном 0,8. Чем выше этот коэффициент, тем плотнее застроен участок и тем меньше пространства остается для растительности и зеленых насаждений. Далее, есть еще один интересный на наш взгляд показатель, обобщающий в себе некоторую «жилищную ценность». При расчете арендной платы за государственное имущество в Республике Татарстан используется, так называемый коэффициент K1, учитывающий престижность района, определяемый по табл.2

Таблица 2 - Коэффициент престижности района N

Наименование социально-экономической зоны	K1
Для г. Казани	
1 Территория исторического центра города Казани	4,0
2 Центральные магистральные улицы города	3,0
3 Транспортные магистрали	2,5
4 Районы жилой застройки	2,0
5 Промышленная зона	1,5
Для других городов Республики Татарстан с населением более 100 тыс. человек	
1 Центральная часть города, основные транспортные магистрали	4,0
2 Районы массовой жилой застройки	1,5
3 Застройка преимущественно частным сектором, промышленная зона	1,5
Для других населенных пунктов Республики Татарстан с населением менее 100 тыс. человек	
1 Центральная часть города, населенного пункта, основные транспортные	

магистрала 3,0 2 Районы массовой жилой застройки 0,7 Согласно приведенной таблице, для города Нижнекамска средний коэффициент K_1 будет равен 1,5, а для города Казани 2,0. Так как нас интересует направленность вектора всех коэффициентов в сторону ухудшения ситуации, обратим коэффициенты отношением: $K_1=1/K_1$. То есть, для города Нижнекамска средний коэффициент K_1 будет равен $1/1,5=0,67$, а для города Казани $1/2,0=0,50$. При составлении генплана Нижнекамска его авторы стремились сделать районы города не похожими друг на друга. Жилые кварталы размещаются на высоком берегу Камы. От основных промышленных объектов они отделены санитарной (зеленой) зоной шириной 5-7 км. В городе много зелени, широкие улицы. Вытянувшись в излучине реки Камы на 7-8 км, город с двух сторон окружен лесом. При площади города 61 кв.км, общая площадь территории «зелёной зоны» (в основном это древственно-кустарниковая растительность) составляет для г. Нижнекамска 26,8 %, численность населения 226,6 тыс. чел. Казань, наоборот, город с исторически плотной застройкой центральной части, обширными промзонами и зонами со смешанным проживанием. Занимая территорию площадью в 425 кв. км, город представлен скудной «зеленой зоной» около 11% при численности населения более миллиона человек. Таким образом, формируется три вида показателей: 1) Этажность жилых зон и коэффициент застройки. 5 типов жилых зон, разбитых по этажности, представляют собой некий ряд, ранжирование которого позволит использовать градации ряда в качестве дополнительного коэффициента повышения риска распространения ЗВ вглубь зоны. При первом приближении, каждой зоне можно назначить равнозначный весовой коэффициент 0.2: 1. зона застройки многоэтажными жилыми домами (6 этажей и выше); 0.2 2. зона застройки среднеэтажными жилыми домами (3-5 этажей); 0.4 3. зона застройки многоквартирными индивидуальными жилыми домами с приусадебными земельными участками. 0.6 4. зона застройки блокированными малоэтажными жилыми домами (1-2-х этажа) с приквартирными земельными участками; 0.8 5. Смешанные зоны 1.0 С другой стороны, чем выше коэффициент застройки, тем меньше пространства остается для растительности и зеленых насаждений, то есть мы будем использовать его совместно с коэффициентом этажности, как бы в противофазе: чем выше коэффициент застройки, тем плотнее городская инфраструктура и тем меньше пространства для «зеленой» защитной зоны в пределах района, и в то же время, чем выше коэффициент этажности, тем равномернее урбанизированный рельеф и тем выше риск распространения ЗВ вглубь жилой зоны. В целом оба коэффициента, как бы «взвешивают» друг друга, дополняя и корректируя: $K_{плотности}=K_{застройки}+K_{этажности}$. В нашем случае, для города Казани он составит: $K_{плотности}=0,8+0,2=1$; А для города-эталона Нижнекамска: $K_{плотности}=0,8+0,4=1,2$. 2) Коэффициент престижности. Принимается равным для города-эталона Нижнекамска $K_{престиж}=0,67$, для опытного города Казани $K_{престиж}=0,50$. 3) Коэффициент «зеленой» зоны.

Лесопарки, древственно-кустарниковая растительность улиц, дворов и вообще территории города является важнейшим фактором, препятствующим распространению ЗВ за пределы санитарно-защитных зон. В городе эталоне Нижнекамске доля территории покрытая древственно-кустарниковой растительностью (зеленая зона) составляла на момент исследования 26,8%, а доля в опытном городе Казани – 11,3%, согласно [8]. Так как все наши коэффициенты «взвешены» в порядке единицы, представим и этот показатель в долях единицы, направив его вектор в сторону ухудшения ситуации: $K_{\text{защит}} = 1 - (P_{\text{насажд}}/100)$; где $P_{\text{насажд}}$ – доля защитных насаждений (%). Таким образом, для города-эталона Нижнекамска $K_{\text{защит}} = 1 - 0,268 = 0,732$; а для города Казани $K_{\text{защит}} = 1 - 0,113 = 0,887$. В результате этих преобразований получим сумму всех коэффициентов для каждого города: $K_{\text{эталон}} = K_{\text{защит}} + K_{\text{плотности}} + K_{\text{престиж}} = 0,732 + 1,2 + 0,67 = 2,602$. $K_{\text{опыт}} = K_{\text{защит}} + K_{\text{плотности}} + K_{\text{престиж}} = 0,887 + 1 + 0,50 = 2,387$. Итоговый, корректирующий коэффициент города $K_{\text{города}}$ определяется отношением эталонного и опытного коэффициентов, выделяя долю несоответствия: $K_{\text{города}} = K_{\text{эталон}}/K_{\text{опыт}} = 2,602/2,387 = 1,09$. Таким образом, результат работы нейросети будет корректироваться двумя показателями – поправкой на ветер и поправкой на город: $K_{\text{ветер}}$ и $K_{\text{города}}$. Поправка на ветер, корректирует пространственное расположение объектов (промышленной и жилой зон). $K_{\text{ветра}} = 0,8692 + 0,0018 \cdot x - 6,6432 \cdot 10^{-6} \cdot x^2$, где X – румб расположения контрольной точки (жилой зоны), относительно промышленной зоны (предполагаемого источника загрязнения), за 0 здесь принят север и далее по часовой стрелке, $K_{\text{ветра}}$ – коэффициент коррекции. При этом для условия штиля (скорость ветра 0-2 м/с, при любом его направлении) принимается рассчитанное ранее значение коэффициента $K_{\text{ветра}} = 0,872$. Апробация методики Для проверки адекватности полученных реперных показателей для городов-аналогов Нижнекамск и Казань для проведения расчетов параметра P использовались данные по г. Казани в 2010 году. Были использованы экспериментальные данные «УГМС РТ» по метеопараметрам и результатам наблюдений за качеством атмосферного воздуха. Из метеорологических данных использовались: количество осадков (в мм), температура (в град. С), атмосферное давление (в мм. рт. ст.), скорость ветра (в м/с), направление ветра (в град.), влажность воздуха (в %). Из результатов наблюдений использовались: значения концентраций загрязняющих веществ по стационарным постам наблюдений. Все данные с помощью программы Excel были сведены в одну таблицу — базу данных по городу Казани. Согласно [7], по полученным экспериментальным данным был определен интегральный параметр P для каждого дня исследований. Данный показатель был использован для проверки адекватности методики с применением реперного показателя. Технология проверки адекватности полученного реперного показателя: 1. Метеоданные по г. Казани подать на входы нейронной

сети, спроектированной и обученной для расчета параметра P в г. Нижнекамске.

2. В результате работы сети получить значение параметра P .

3. Значение полученного параметра пересчитать с учетом реперного показателя для города-аналога.

4. Результирующее значение P сравнить с о значением, полученным по данным измерений концентраций загрязняющих веществ в указанный день.

5. Считать реперный показатель адекватным, если разница между реальным и спрогнозированным значением параметра P не превышает 10%. Эксперименты проводились для всех четырех сезонов. Учет сезона нейронной сетью осуществляется посредством учета месяца наблюдений как категориальной переменной. Показатели моделирования по сезонам: Зима. Средняя погрешность прогнозирования параметра P для Казани составила 0,321%. Максимальная погрешность получена для даты 01.01.2010 г. и составила 0,549%.

Характеристики для даты с максимальной погрешностью: Дата: 01.01.10

Метеопараметры: Месяц проведения наблюдений - январь Температура -4 Атмосферное давление 745 Скорость ветра 4 Направление ветра в градусах 225 Направление ветра В Влажность 93% Экспериментальное значение параметра P на 01.01.10 : 0,2 Расчетное значение нейросети для Нижнекамска $P=0,21$. Скорректированное значение для Казани $P=0,19$ Погрешность: 0,6% Весна. Средняя погрешность значения параметра P для Казани составила 6,5%. Максимальная погрешность получена для даты 12.04.2010 г. и составила 9%.

Характеристики для даты с максимальной погрешностью: Дата: 12.04.10

Метеорологические параметры: Месяц проведения наблюдений - апрель Температура +4 Атмосферное давление 755 Скорость ветра 5 Направление ветра в градусах 45 Направление ветра С Влажность 60% Экспериментальное значение параметра P на 12.04.10 : 0,24 Расчетное значение нейросети для Нижнекамска $P=0,27$ Скорректированное значение для Казани $P=0,24$ Погрешность: 9% Лето. Средняя погрешность значения параметра P для Казани составила 0,2%. Максимальная погрешность получена для даты 15.07.2010г. и составила 0,4%.

Характеристики для даты с максимальной погрешностью: Дата: 15.07.2010

Метеорологические параметры: Месяц проведения наблюдений - июль Температура +28 Атмосферное давление 748 Скорость ветра 10 Направление ветра в градусах 45 Направление ветра С Влажность 25% Экспериментальное значение параметра P на 15.07.2010 : 0,25 Расчетное значение нейросети для Нижнекамска $P=0,27$ Скорректированное значение для Казани $P=0,25$ Погрешность: 0,4% Осень. Средняя погрешность значения параметра P для Казани составила 2,9%. Максимальная погрешность получена для даты 13.09.2010г. и составила 4,5%.

Характеристики для даты с максимальной погрешностью: Дата: 13.09.2010

Метеорологические параметры: Месяц проведения наблюдений - сентябрь Температура +22 Атмосферное давление 753 Скорость ветра 6 Направление ветра в градусах 270 Направление ветра Ю Влажность 23% Экспериментальное значение параметра P на

13.09.2010 : 0,2 Расчетное значение нейросети для Нижнекамска $P=0,2$
Скорректированное значение для Казани $P=0,209$ Погрешность: 4,5% Анализ полученных результатов Результаты эксперимента показали состоятельность разработанной методики определения реперных показателей для городов-аналогов в целях определения параметра P . Также была доказана адекватность полученного реперного показателя для городов Нижнекамск и Казань. Максимальные погрешности прогнозирования параметра P получены для весеннего (9%) и осеннего (4,5%) периодов. Такой результат вполне ожидаем, так как в так называемые «межсезонные» периоды метеопараметры весьма лабильны и труднопредсказуемы. Зимой и летом прогноз параметра P для города Казани оказался значительно точнее: 0,549% и 0,408% максимальной погрешности соответственно. Данные результаты, вполне согласующиеся с сезонными колебаниями, говорят о высокой пригодности как нейронной сети, построенной и обученной для города-аналога Нижнекамска, так и методики пересчета этого параметра для города аналога при помощи реперного показателя. Во всех проведенных экспериментах погрешность не превысила допустимую (10%).