

Введение Осуществление плановых мероприятий, направленных на снижение уровня загрязнения воздуха в зонах действия полимерных производств до нормативных значений, часто требует длительного времени. Поэтому большое значение приобретают работы по оперативному регулированию качества атмосферного воздуха на основе краткосрочного прогноза уровня загрязнения воздуха в периоды неблагоприятных метеорологических условий (НМУ). Оперативный прогноз НМУ позволят предотвращать рост загрязнения воздуха в городе, за счет временного сокращения выбросов. Именно прогноз и предотвращение высоких уровней загрязнения воздуха, формирующихся в периоды НМУ, является в настоящее время практически единственным путем улучшения состояния воздушного бассейна в городах без значительных материальных затрат. Прогнозирование городского фонового загрязнения воздуха основано на материалах фактических наблюдений. Устанавливаются корреляционные связи обобщенных характеристик загрязнения воздуха с определенным сочетанием метеоусловий. Необходимость учета условий формирования НМУ, создаваемых в конкретных городах, определяет региональный подход к составлению прогностических схем [1,2]. Данная работа основана на подходах к осуществлению расчетного экологического мониторинга, изложенных в [3,4] Загрязнение воздуха, изменяющееся на всей территории города под влиянием метеорологических условий, характеризуется обобщенными (интегральными) показателями, которые рассчитываются по материалам фактических наблюдений. Из всех разработанных обобщенных показателей только параметр P является основой сокращения выбросов в атмосферу в периоды НМУ и оперативного регулирования качества атмосферного воздуха, поэтому именно расчет этой величины является приоритетным. Параметр P рассчитывается по формуле: $P = m/n$, где n — общее количество наблюдений за концентрацией примесей в городе в течение одного дня на всех стационарных постах; m — количество наблюдений в течение этого же дня с концентрациями q , которые превышают среднесезонное значение $q_{ср}$ более чем в 1,5 раза ($q > 1,5q_{ср}$). Таким образом, параметр P представляет собой отношение количества существенно повышенных концентраций (относительно среднего значения) к общему числу измерений в течение дня. Для получения ежедневных значений параметра P предварительно рассчитываются среднесезонные значения концентраций примесей для каждого стационарного поста. Расчеты средних значений концентраций проводятся отдельно для каждого года. По всему используемому ряду наблюдений отмечаются единичные концентрации, которые превышают $1,5q_{ср}$. Для каждого дня определяются величины m , n и параметр P [5-7]. По результатам наблюдений [1,2] на территории ряда крупных промышленно развитых городов РФ с высокой концентрацией полимерных производств нами получен ряд градаций параметра P (табл. 1). Таблица 1 - Градации параметра P Номер группы I II III Градация

параметра $P > 0,35$ 0,21—0,35 £ 0,20 Характеристика загрязнения воздуха
Относительно высокое Повышенное Пониженное Средняя повторяемость, % 10
40 50 Для определения параметра P по результатам экспериментальных
наблюдений, согласно [5,6], необходимо соблюдение следующих условий: 1)
количество стационарных пунктов в городе должно быть не менее трех. 2)
количество наблюдений за концентрациями примесей в воздухе на всех постах в
течение дня не должно быть меньше 20. Эти условия выполняются только для
некоторых городов РФ, например для Республики Татарстан это условие
выполняется только для г.Казани. Однако, проводятся регулярные
метеорологические наблюдения в большинстве крупных городов на территории
РФ. Только на территории РТ действуют 16 метеостанции. Кроме того, в
настоящее время существует возможность получения метеоинформации в
режиме on line. Анализ материалов наблюдений показал [5-7], что к
определяющим метеопараметрам относятся направление переноса примесей,
скорость их переноса, атмосферная устойчивость и связанная с ней степень
вертикального перемешивания примесей, термическое состояние воздушной
массы, от которого зависит начальный подъем выбросов, вымывание примесей
осадками, их аккумуляция в туманах. В целом возможными предикторами [5]
могут быть: v_0 - скорость ветра на высоте флюгера, м/с; d — направление ветра;
 v_1 — скорость ветра на уровне изобарической поверхности АТ925, м/с; —
средняя скорость в слое перемешивания, м/с; DT — разность температур на
уровне земли и АТ925, °С; T_0 — температура воздуха у земли, °С; H_p — высота
слоя перемешивания, м (иногда вместо H_p используется величина H_{td} — слой
термодинамического перемешивания, которая характеризует процесс
вертикального обмена, определяемый как термической стратификацией, так и
вертикальным сдвигом ветра; H_2 —нижняя граница приподнятой инверсии, м
(если инверсия приземная, то $H_2 = 0$); H_1 — мощность приземной инверсии, м
(при отсутствии приземной инверсии $H_1 = 0$); DP/Dn — градиент приземного
давления, гПа/градус меридиана). Для выбора наиболее значимых предикторов
необходимо осуществить анализ материалов наблюдений в конкретных городах
с учетом тесноты и реального вида связей между метеорологическими
факторами и концентрациями примесей в воздухе. Если в качестве предикторов
принимаются характеристики пограничного слоя атмосферы, то для своего
определения они требуют проведения аэрологического зондирования, которое
осуществляется лишь в немногих крупных городах РФ. Следовательно, нами
ставилась задача определения предиктанта параметра P с помощью обученной
нейросети, в качестве предикторов которой использовались значимые и
доступные в измерении метеопараметры, определяющие рассеивание примесей
в атмосфере и формирование приземных концентраций. Экспериментальная
часть Для целей прогноза уровней загрязнения атмосферы нами использовались
результаты регулярных измерений концентраций загрязняющих атмосферу

веществ на территории города Нижнекамска за период с 2005 по 2010 гг. Измерения производились с интервалом в два дня по 15-ти загрязняющим веществам. Нами проводился корреляционный анализ, который показал наличие тесных корреляционных связей между параметром Р, рассчитанным по совокупности примесей и легко измеряемыми метеопараметрам (направление ветра, скорость ветра, температура, давление, влажность воздуха). Причем метеопараметры учитывались как в черте города, так и за его пределами (район аэропорта Бегишево). Данные метеопараметры были выбраны в качестве значимых предикторов. Если представить графически коэффициенты корреляции, полученные между концентрацией различных веществ и различными метеопараметрами, зарегистрированными как на АМСГ Бегишево, так и в городе Нижнекамске, то отмечается чёткая взаимосвязь исследуемых показателей (рРис. 1-4). Рис. 1 Рис. 2 Рис. 3 Рис. 4 Рис. 1-4 Коэффициенты корреляции между отдельными метеопараметрами и измеряемыми концентрациями загрязняющих веществ Показанные на рисунках 1-4 зависимости позволяют доказать значимость метеопараметров – направление и скорость ветра, влажность, температура, давление при формировании приземных концентраций примесей. Важно отметить, что измеряемые метеопараметры в черте города и на стационарном посту в Бегишево за его пределами часто и значительно различались. Это обусловлено сложной аэродинамической картиной в черте города, плотностью и этажностью застройки. Кроме того, методом множественной регрессии все предикторы были сведены в несколько моделей, линейно характеризующих их взаимосвязь с параметром Р в пределах одного из сезонов (зима, весна, лето, осень). Все комплексы предикторов подбирались по каждому сезону отдельно. Следует отметить, что для зимнего периода была подобрана такая комбинация простых линейных и полиномиальных моделей, которая позволила максимально охватить весь диапазон значений всех предикторов, а результатом комбинации было средневзвешенное значение рассчитанного для всех предикторов показателя Р. Многочлены или полиномы от одной переменной — функции вида: $F(x) = c_0 + c_1x + \dots + c_nx^n$, где c_i фиксированные коэффициенты, а x — переменная. Полиномы составляют один из важнейших классов элементарных функций. Полиномиальные функции рассчитывались нами с помощью пакета статистических программ Statistica. Учитывалось обозначение направления ветра по румбам (табл. 2). В результате получены полиномы: ; ; ; ; где Т- температура воздуха, р-давление, v- влажность воздуха, V – скорость ветра, N – направление ветра. Таблица 2 -Обозначения направления ветра и соответствующие им румбы

Обозначения направления ветра	Румб	направления ветра, в град.
СЗ	0	С 45 З 90
СВ	135	ЮЗ 180 В 225
Ю	270	ЮВ 315
Штиль	315	

Прогностические диапазоны значений Р получены методом квартилей, при этом: если $P \leq 0.2$ то «В этот день прогнозируется слабое суммарное загрязнение»;

если $P > 0.2$ и $P \leq 0.35$ то «В этот день прогнозируется умеренное суммарное загрязнение»; если $P > 0.35$ то «В этот день прогнозируется сильное суммарное загрязнение». Ранжирование это универсальное и принято для всех сезонов. Для других сезонов модели подобраны исключительно методом множественной регрессии. При исследовании многофакторных процессов возникает необходимость установления зависимости между несколькими переменными. Исходными данными для получения такой зависимости служат материалы наблюдений над переменной y и определяющими её переменными x_1, x_2, \dots, x_k . Результаты совместных наблюдений можно представить в виде: $\{y_i; x_{1i}, x_{2i}, \dots, x_{ki}\}$, $i = 1, 2, \dots, N$. Уравнение множественной линейной регрессии имеет следующий вид: $y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_kx_k + Z_i$, где $a_0, a_1, a_2, \dots, a_k$ - параметры данного уравнения, которые оцениваются методом наименьших квадратов; Z_i - случайная величина, представляющая ошибку, причем $M(Z_i) = 0$. Ошибка связана как с неточностью измерения, так и с влиянием на нее неучтенных факторов. Так, для весны рассчитано следующее уравнение: Параметры модели: коэффициент множественной корреляции $R = 0.67$, коэффициент детерминации $R^2 = 0.45$, критерий $F = 18.5$, уровень значимости $p = 0.0034$. Для лета, уравнение регрессии выглядит следующим образом: Параметры модели: коэффициент множественной корреляции $R = 0.73$, коэффициент детерминации $R^2 = 0.53$, критерий $F = 24.0$, уровень значимости $p = 0.011$. Соответствующее регрессионное уравнение для осени: Параметры модели: коэффициент множественной корреляции $R = 0.82$, коэффициент детерминации $R^2 = 0.67$, критерий $F = 14.0$, уровень значимости $p = 0.0083$. Эти регрессионные модели были сгруппированы в особый расчетный алгоритм, реализованный в виде отдельного программного модуля. В результате рассчитываются не только значения параметра P , но и прогнозируются концентрации в воздухе некоторых загрязняющих веществ. Следующей задачей является исследование возможностей нейронной сети для прогноза изменчивости параметра P . Для создания и обучения нейросети использовались результаты систематических наблюдений за содержанием примесей: азота диоксид, аммиак, бенз(а)пирен, бензол, взвешенные вещества, ксилол, озон, окись азота, ртуть, сажа, свинец, сероводород, серы диоксид, стирол, толуол, углеводороды, углерода оксид, фенол, формальдегид, хлор, этилбензол в приземном слое атмосферы на территории г. Нижнекамска. Спроектирована нейронная сеть для прогнозирования параметра P в зависимости от входных данных - метеоусловий следующей топологии: количество входных нейронов - 7 количество скрытых слоев - 1 количество нейронов в скрытом слое - 5 количество выходных нейронов - 1. Нейронная сеть обучена с применением следующего алгоритма: двухпроходный алгоритм. алгоритм обучения первого прохода - обратное распространение ошибки алгоритм обучения второго прохода - метод сопряженных градиентов/ Обучение и проверка адекватности построенной нейронной сети проводились на экспериментальных данных. Основные

параметры полученных результатов: Минимальное значение ошибки – 0,0002 (0,4%) Среднее значение ошибки – 0,005 (0,9%) Максимальное значение ошибки – 0,06(11,5%) Корреляция между экспериментальными и рассчитанными данными – 0,98. Таким образом, спроектированная нейронная сеть может с высокой степенью эффективности применяться для прогнозирования параметра вероятности риска возникновения условий, при которых концентрация загрязняющих веществ в приземном слое атмосферы будет максимальной. Данная нейросеть позволяет предсказывать значения параметра Р и для других городов Республики Татарстан, где не проводятся систематические наблюдения за содержанием примесей в атмосферном воздухе и расчет параметра Р по экспериментальным данным невозможен.