

**Рисунок 5 – Временной ряд, гистограмма распределения и функция распределения удельной электропроводности**

#### Список использованных источников

1. Долгоносов, Б.М. Сезонные изменения в распределении вероятностей показателей качества речной воды / Б.М. Долгоносов, К.А. Корчагин // Водные ресурсы, 2014.– №1. – С. 39-48.
2. Об установлении нормативов качества воды поверхностных водных объектов: Постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 30 марта 2015 г. №13.
3. Ресурсы поверхностных вод СССР / под ред. З.И. Мироненко.– Л.: Гидрометеиздат, 1966. – Т.5: Белоруссия и Верхнее Поднепровье. – 720 с.

УДК 628.16

### ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ ВОДЫ ОТ НИТРАТОВ МЕТОДОМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ

**Андреюк С. В., Житенев Б. Н.**

УО «Брестский государственный технический университет», г. Брест

Многофакторный эксперимент широко используется в современной научной деятельности и является эффективным средством обработки и планирования экспериментальных исследований [1]. Планированием многофакторного эксперимента назы-

вается процедура выбора числа опытов и условий их проведения, необходимых для решения поставленной задачи с требуемой точностью.

Протекание процесса количественно характеризуется одной или несколькими величинами, например: эффект очистки воды, остаточное содержание примеси (например, нитратов) и т. п. Такие величины называют функциями отклика. Математические методы оптимального планирования экспериментов позволяют получить математическую модель процесса даже при отсутствии данных о его механизме.

Математические модели, полученные с помощью методов планирования экспериментов, принято называть экспериментально-статистическими [2,4]. При применении статистических методов планирования эксперимента математическое описание представляется в виде полинома:  $Y=f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ , где  $Y$  – функция отклика (величина, качественно характеризующая протекание процесса), а  $x_1, x_2, x_3$  – влияющие факторы (аргументы) исследуемого процесса. При этом ценность математического описания заключается в том, что оно дает информацию:

- о закономерностях влияния отдельных факторов на функцию отклика;
- позволяет количественно определить значение функции отклика при заданных значениях факторов;
- может служить основой для оптимизации процесса.

Исследования механизма очистки воды от нитратов методом ионного обмена проводились на кафедре водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов Учреждения образования «Брестский государственный технический университет» и были выполнены на экспериментальной установке, представляющей собой модель ионообменного фильтра – фильтрационную колонку, загруженную ионообменной смолой. В качестве загрязненной воды использовали водопроводную воду с добавкой нитратов в количестве 90-100 мг/дм<sup>3</sup>, что соответствует концентрации, в два раза превышающей предельно допустимую (45 мг/дм<sup>3</sup> по нитратному азоту). Целью экспериментальных исследований являлось изучение влияния на эффективность процесса очистки воды от нитратов основных факторов при работе ионообменной колонки:

- скорости фильтрации воды  $V$ , м/ч;
- высоты загрузки фильтрационной колонки  $h$  с учетом ее диаметра  $d$ ;
- температуры обрабатываемой воды  $t$ , °С.

Поскольку процесс ионообменной очистки является многофакторным, с целью сокращения затрат времени и материальных средств на выполнение исследований был применен математический метод оптимального планирования эксперимента, позволивший получить математическую модель процессов ионообменной очистки воды от нитратов [3]. Процесс нахождения математической модели включал в себя: планирование эксперимента, проведение эксперимента на объекте исследований; проверку воспроизводимости эксперимента; получение математической модели объекта с проверкой статистической значимости выборочных коэффициентов регрессии; проверку адекватности математического описания.

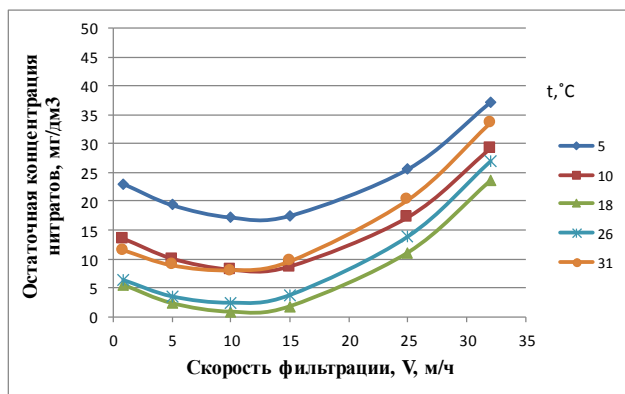
Для нахождения области оптимума был произведен экспериментальный поиск и затем в оптимальной области осуществлен ротационный план второго порядка, при котором факторы варьировались на пяти уровнях.

Проверка воспроизводимости опытов осуществлялась с помощью критерия Кохрена. Значимость коэффициентов регрессии определялась с учетом значения критерия Стьюдента. Адекватность зависимостей подтверждена по критерию Фишера при 5%-м уровне значимости.

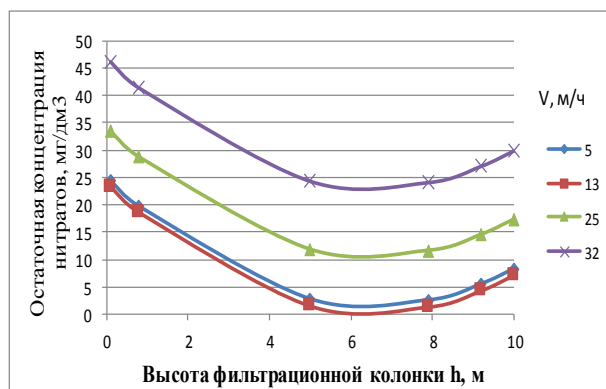
Результаты эксперимента были обработаны на ЭВМ, на основании чего составлено уравнение регрессии  $\Xi=f(V, H/d, t)$  в виде многочлена второй степени от трех переменных (в физических переменных):

$$y = 63,63 - 1,24v - 7,86(h / d) - 3,14t + 0,05v^2 + 0,56(h / d)^2 + 0,07t^2$$

С помощью данного уравнения можно прогнозировать эффективность работы установки в определенном режиме ведения процесса очистки воды [5]. Полученная экспериментально-статистическая модель позволяет представить поверхность отклика на факторной плоскости линиями зависимости остаточной концентрации нитратов  $У$  от высоты загрузки фильтрационной колонки  $h$  при определенном диаметре  $d$ , от скорости фильтрации  $V$ , от температуры обрабатываемой воды  $t$ .



**Рисунок 1 – Влияние скорости фильтрации  $V$ , м/ч, на процесс удаления нитратов при различной температуре воды  $t$ , °C, и параметре  $H/d=5,6$**



**Рисунок 2 – Влияние параметра  $h$ , м, на процесс удаления нитратов при различной скорости фильтрации  $V$ , м/ч, и температуре воды  $t=19^{\circ}C$**

Анализ уравнения по определению  $У$  в зависимости от  $h$ ,  $V$  и  $t$ , выполненный с использованием свойства функции, имеющей экстремум (в точке экстремума первая производная функции равна нулю), позволил установить, что минимальная остаточная концентрация нитратов в процессе ионообменной очистки воды достигается при определенных значениях исследованных факторов (рисунки 1, 2).

#### Список использованных источников

1. Дегтярев, Д. А. Пошаговая методика проведения многофакторного эксперимента. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://manufactors.ru>. – Дата доступа: 07.01.2019.
2. Мухачёв, В. А. Планирование и обработка результатов эксперимента: учеб.-метод. пособие / В. А. Мухачев. – Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2007. – 118 с.
3. Андреюк, С. В. Исследование методов физико-химической очистки природных вод от нитратов / С. В. Андреюк // Сборник научных статей Международной научно-практической конференции, Брест, 6–8 апреля 2016 г. : в 2-х ч. / УО «Брестский гос. технический ун-т.»; под ред. А.А. Волчек [и др.]. – Брест, 2016. – Ч. II. – С. 159–163.
4. Саутин, С. П. Планирование эксперимента в химии и химической технологии. – Л.: Химия, 1975. – 47 с.
5. Житенев, Б. Н. Исследование метода ионообменной очистки природных вод от нитратов / Б. Н. Житенев, С. В. Андреюк, М. А. Таратенкова // Современные тенденции развития науки: материалы Международной научно-практической конференции молодых ученых. – Ровно, 12 мая 2016 г. / Национальный ун-т водного хоз-ва и природопользования. – Ровно, 2016. – С. 132–134.