

ИССЛЕДОВАНИЕ И ОЦЕНКА РАБОТОСПОСОБНОСТИ СИСТЕМЫ ВОДООЧИСТКИ С ПОМОЩЬЮ СОЗДАНИЯ ВИЗУАЛЬНОЙ МОДЕЛИ В ИНТЕГРИРОВАННОЙ СРЕДЕ РАЗРАБОТКИ TRACE MODE

Ахмедова О.О., Сошинов А.Г., Степанов С.Ф.

*Камышинский технологический институт (филиал) ВолгГТУ, Камышин
Камышин, Россия (403870, г. Камышин, ул. Ленина, 6^а) epp@kti.ru.*

Традиционные методы обработки сточных вод, направляемых на сброс, для обеспечения требуемого качества недостаточны. Необходимы новые альтернативные технологии очистки и дезинфекции, при помощи которых удаётся снизить уровень содержания в воде микробов, питательных веществ, токсических веществ и выйти на требуемый уровень качества воды при относительно невысокой стоимости установки, а также с минимальной потребляемой мощностью. Разработанная локальная установка очистки сточных вод комплексом электрофизических методов удовлетворяет предъявленным требованиям, что отражает математическая модель проектируемой установки. Однако использование в одном электротехническом комплексе водоочистки сразу четырех электрофизических методов воздействия связано с применением дорогостоящего оборудования и высокими эксплуатационными затратами. Поэтому наиболее эффективное использование возможно в случае «направленного» применения для деструкции загрязнений, в которой также оптимально подобраны доза и время воздействия, что приводит к снижению потребления электроэнергии.

Ключевые слова: электрофизические методы, математическая модель, оптимизация, обеззараживание сточных вод.

RESEARCH AND ESTIMATION OF WORKING CAPACITY OF SYSTEM OF WATER PURIFICATION BY MEANS OF CREATION OF VISUAL MODEL IN THE INTEGRATED ENVIRONMENT OF WORKING OUT TRACE MODE

Akhmedova O.O., Soshinov A.G., Stepanov S.F.

*Kamyshinsky institute of technology (branch) of VolgGTU, Kamyshin
Kamyshin, Russia (403870, Kamyshin, Lenin's street, 6a) epp@kti.ru.*

Traditional methods of processing of the sewage directed on dump, are insufficient for maintenance of demanded quality. New clearings alternative technologies and disinfection with which help it is possible to lower maintenance level in water of microbes, nutrients are necessary, toxic substances and to leave on a demanded degree of quality of water at rather low cost of installation, and as with the minimum power consumption. The developed local installation of sewage treatment by a complex of electrophysical methods meets the shown requirements that the mathematical model of projected installation reflects. However use in one electrotechnical complex of water purification at once four electrophysical methods of influence with application of the expensive equipment, and high operational expenses. Therefore most the effective utilization is possible in case of "the directed" application for destruction of pollution. As in which it is optimum a dose and influence time that leads to current consumption decrease.

Key words: electrophysical methods, mathematical model, optimization, disinfecting of sewage,

В настоящее время уровень загрязнённости окружающей среды продуктами жизнедеятельности человека в густонаселённых местах достигает критической отметки. В населённых пунктах, где не имеются подключения к существующей централизованной канализационной сети, возникает проблема в использовании локальных очистных сооружений, способных производить очистку вод от хозяйственных стоков с высокой степенью очистки.

Существующие установки, нацеленные на решение данной проблемы, как правило, осуществляют обеззараживание одним либо двумя электрофизическими методами, при этом используются максимальные дозы воздействия для подавления жизнедеятельности

болезнетворных микроорганизмов, что в свою очередь ведет к значительным затратам электроэнергии. Исследуем работу комплексной локальной установки, которая будет обеспечивать требуемый уровень качества воды по средствам совместного использования озонирования, ультрафиолетового, ультразвукового и СВЧ воздействия. Одновременное применение выше перечисленных электрофизических методов приведет к требуемой, согласно МУ 2.1.5.800 – 99 «Организация госсанэпиднадзора за обеззараживанием сточных вод», степени обеззараживания сточных вод, но при оптимальном подборе времени и дозы воздействия на выходе получим снижение потребления электроэнергии.

Одной из главных задач эксперимента является получение и проверка математической модели объекта, описывающей в количественной форме взаимосвязи между входными и выходными параметрами объекта. Входные параметры, которые могут быть изменены, называют факторами, в данном случае, это доза и время воздействия на обеззараживаемую среду. Для каждого фактора до измерения устанавливается область определения, которая может быть непрерывной и дискретной. Для удобства регулирования параметров непрерывную область определения искусственно дискретизируем. В теории планирования эксперимента объект исследований принято представлять в виде «черного ящика», а его математическая модель описывает функциональные связи между входными и выходными параметрами. Главными требованиями, предъявляемыми к математическим моделям объектов, являются удобство математического использования и интерпретируемость модели.

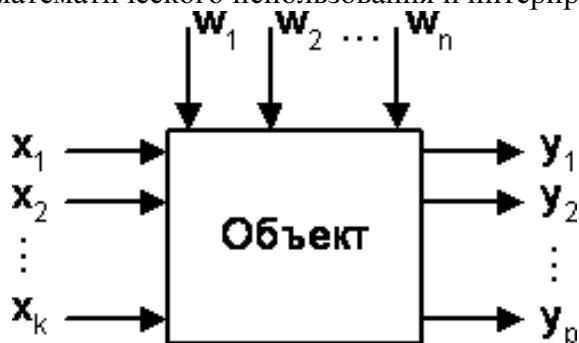


Рис. 1. Объект исследования, представленный в виде структурной схемы
Представление объекта в виде такой схемы основано на принципе «черного ящика». Можно выделить следующие задачи проверки моделей (рис.1):

1. Имея «черный ящик», зная входные и выходные сигналы, получить (смоделировать) его содержимое.
2. Построить «черный ящик», который будет нужным образом откликаться на заданное входное воздействие.

Для определения оптимальных параметров воздействия на сточные воды комплексом электрофизических методов аппроксимируем данные, полученные экспериментальным путем, отражающие зависимость дозы и времени воздействия от количества инактивированных патогенных микроорганизмов. Затем в прикладной программе Mathcad определим оптимальные параметры воздействия на сточные воды, исходя из двух критериев: минимальное потребление электроэнергии и минимальное количество болезнетворных микроорганизмов на выходе из локальной установки.

На основании ранее определённых факторов осуществим тестирование математической модели локальной установки очистки сточных вод.

Рассмотрим математическую модель локальной установки для очистки сточных вод с последовательным соединением блоков воздействия. Параметры состояния модели отображают процент выживших микроорганизмов от общего числа патогенов, для ОМЧ, ОКБ, ТКБ начальное число болезнетворных бактерий равно 10000 шт. в 100 мл, а колифагов – 100 шт. в 100 мл, поэтому для удобства восприятия далее перейдём от процентного соотношения к количественному показателю. При воздействии на сточные воды опти-

мальными параметрами на выходе модели наблюдается минимальное число болезнетворных микроорганизмов. Общее микробное число снизилось до величины менее $3,29 \cdot 10^{-7}$ КОЕ/мл в очищенной воде, аналогичные результаты были достигнуты и по остальным индикаторным показателям: количество общих колиформных бактерий на выходе установки составило 0,086 КОЕ/100мл, термотолерантных бактерий – $2,6 \cdot 10^{-10}$ КОЕ/100мл, а колифагов – 0,015 БОЕ/100мл. Выходные данные представлены на рис. 2.

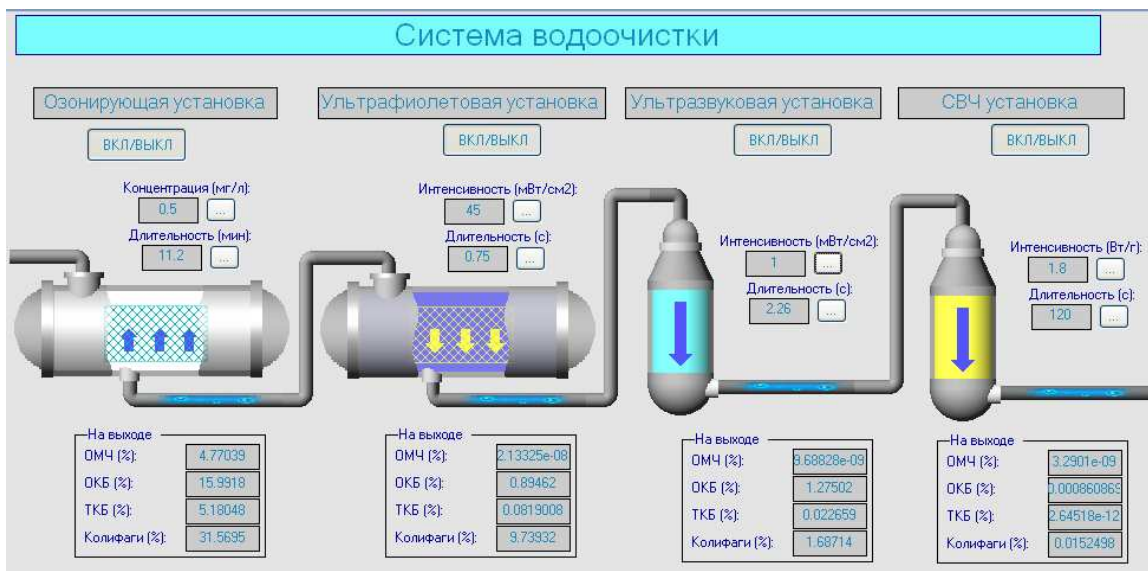


Рис. 2. Математическая модель установки очистки сточных вод с выводом процентного снижения численности патогенов при использовании оптимальных параметров

При увеличении входного параметра (дозы воздействия) во всех блоках установки наблюдается еще большая инактивация патогенных микроорганизмов: общее микробное число снизилось до $3,2 \cdot 10^{-11}$ КОЕ/100мл, общие колиформные бактерии – до величины $8,55 \cdot 10^{-3}$ КОЕ/100мл, термотолерантные бактерии – $6,89 \cdot 10^{-11}$ КОЕ/100мл, колифаги – 0,0019 БОЕ/100мл (рис. 3). Полученные результаты обеззараживания сточных вод много ниже требуемых по МУ 2.1.5.800 – 99 «Организация госсанэпиднадзора за обеззараживанием сточных вод», следовательно, увеличение дозы воздействия является нецелесообразным, так как ведет к необоснованным дополнительным затратам электроэнергии и необходимости применения более дорогостоящего оборудования большей производительности.



Рис. 3. Математическая модель установки очистки сточных вод с выводом процентного снижения численности патогенов при увеличении дозы воздействия

Для оценки качества обеззараживания следует рассмотреть каждый метод воздействия индивидуально. Увеличение периода озонирования привело к незначительному снижению численности патогенов по сравнению с воздействием оптимальными дозами и временем: ОМЧ – 107 КОЕ/100мл, ОКБ – 1539 КОЕ/100мл, ТКБ – 117 КОЕ/100мл, колифаги – 32,6 БОЕ/100мл. Полученные результаты объясняются тем, что с увеличением времени нахождения сточных вод в контактной камере увеличивается продолжительность пребывания озоносодержащей газовой фазы в реакторе, это необходимо для обеспечения более полного перехода озона в жидкую фазу и поддержания высоких скоростей окисления.

В соответствии с теорией В.В. Померанцева и С.Н. Сыркина [6], сферический пузырек диаметром d при своем всплывании в круглой трубе освобождает под собой пространство, равное $(\pi d^2/4)dh$, которое заполняется перетекающей в него жидкостью в соответствии с равенством:

$$\frac{\pi d^2}{4} dh = -v_{жс} \pi \frac{d_m^2 - d^2}{4} dt \quad (1)$$

где $v_{жс}$ – скорость движения жидкости в кольцевом пространстве между пузырьком и стенками трубы; d_T – диаметр трубы.

Учитывая, что абсолютная скорость всплывания газового пузырька относительно стенок сосуда – $v_r = dh/dt$, получим:

$$v_z = v_{жс} \left[1 - \left(\frac{d_m}{d} \right)^2 \right] \quad (2)$$

Следовательно, относительную скорость можно выразить:

$$v = v_z - v_{жс} = \frac{v_z}{1 - \left(\frac{d}{d_m} \right)^2} \quad (3)$$

откуда

$$v_z = v_{z(\infty)} \left[1 - \left(\frac{d_m}{d} \right)^2 \right] \quad (4)$$

где $v_{z(\infty)}$ – скорость всплывания пузырька в неограниченном объеме жидкости.

Из выражения (4) видно, что на скорость всплывания пузырьков влияет диаметр сосуда, т.е. при $d \rightarrow d_T$ скорость $v_r \rightarrow 0$; при уменьшении относительного диаметра пузырька газа, если $d/d_T \rightarrow 0$ то $v_r \rightarrow v_{z(\infty)}$.

Если рассматривать реальные контактные аппараты, то необходимо учитывать, что пузырьки диаметром $d > 2$ мм имеют не сферическую форму, и всплывающая ДГФ является полидисперсной. Поэтому, процесс всплывания газовой фазы можно рассчитать через величину газонаполнения, при этом вместо диаметра пузырьков газа учитывать их площади, занимаемые в расчетном сечении реактора. В качестве скорости всплывания возьмем среднюю скорость всплывания пузырьков газовой фазы, v_r .

При движении диспергированной газовой фазы через поперечное сечение, ограниченное стенками аппарата, происходит встречное движение жидкости с таким же расходом, то есть:

$$q_{жс} = q_z \quad (5)$$

тогда

$$F_{жс} v_{жс} = F_2 \bar{v}_2 \quad (6)$$

где $F_{ж}$ и $F_{г}$ – площади, занимаемые в рассматриваемом сечении жидкой и газовой фазой, соответственно.

Так как газовая фаза в стеснённых условиях поднимается встречно потоку жидкой фазы, то её скорость относительно контактного аппарата будет определяться выражением (7):

$$\bar{v}_2 = \bar{v}_{2(\infty)} - v_{жс} \quad (7)$$

При этом скорость движения жидкости относительно аппарата равна:

$$v_{жс} = \bar{v}_{2(\infty)} - \bar{v}_2 \quad (8)$$

где $v_{г(\infty)}$ – средняя скорость всплывания пузырьков газовой фазы в неограниченном объеме жидкости.

В соответствии с формулой (2.40) получим:

$$F_2 \bar{v}_2 = F_{жс} \bar{v}_{2(\infty)} - F_{жс} \bar{v}_2 \quad (9)$$

Откуда:

$$\bar{v}_2 = \bar{v}_{2(\infty)} \frac{F_{жс}}{F} = \bar{v}_{2(\infty)} \frac{F - F_2}{F} \quad (10)$$

где $F = F_{ж} + F_{г}$ площадь живого сечения контактного аппарата.

Газонаполнение при ограниченном сечении толщиной dh можно определить:

$$\varphi = \frac{F_2}{F_2 + F_{жс}} = \frac{F_2}{F} \quad (11)$$

откуда площадь, занимаемую газовой фазой, можно представить следующим выражением:

$$F_2 = F \varphi = F \frac{v_2}{\bar{v}_2} = F \frac{q_2}{F \cdot \bar{v}_2} = \frac{q_2}{\bar{v}_2} \quad (12)$$

Подставив в уравнение (2.44) выражение для площади, занимаемой газовой фазой в поперечном сечении, получим:

$$\bar{v}_2 = \bar{v}_{2(\infty)} \left(1 - \frac{q_2}{\bar{v}_2 \cdot F} \right) \quad (13)$$

Так как величина \bar{v}_2 стоит и в обеих частях уравнения, то для её определения необходимо применить метод последовательного приближения, приняв $\bar{v}_2 = \bar{v}_{2(\infty)}$. Уравнение (13) применимо для случая всплывания ДГФ в стеснённых условиях.

При увеличении длительности воздействия ультрафиолетом и ультразвуком, вместо инактивации микроорганизмов, наблюдается рост численности патогенов (ультрафиолетовый блок: ОМЧ – $5,8 \cdot 10^{-5}$ КОЕ/100мл, ОКБ – 232 КОЕ/100мл, ТКБ – 8,6 КОЕ/100мл, колифаги – 13,19 БОЕ/100мл; ультразвуковой блок: ОМЧ – $2,19 \cdot 10^{-5}$ КОЕ/100мл, ОКБ – 62966 КОЕ/100мл, ТКБ – 2,2 КОЕ/100мл, колифаги – 2,19 БОЕ/100мл). Таким образом, увеличение периода воздействия приводит к реактивации микроорганизмов, при котором восстанавливаются поврежденные участки нуклеиновых кислот (ДНК/РНК) патогенов. Способность к реактивации имеется не у всех микроорганизмов, поэтому не наблюдается четко выраженной зависимости между количеством болезнетворных микроорганизмов и временем, наибольшее увеличение численности наблюдается у общих колиформных бактерий. В блоке ультрафиолетового воздействия наблюдается фотореактивация, которая запускается под воздействием света, а в ультразвуковой установке – темновая реактивация, которая происходит без участия света. Реактивация возможна после любого вида воздействия, если степень воздействия оставляет возможность для реактивации. При обеспе-

чении достаточной дозы облучения реактивация не возможна. Данные, полученные на выходе установки, мало отличаются от результатов воздействия оптимальными дозами и временем, так как завершающим блоком установлена установка СВЧ воздействия, увеличение длительности, воздействия которой приводит к снижению численности индикаторных показателей.

Из этого следует, что после воздействия на микроорганизмы ранее определённой оптимальной дозой и продолжительностью по времени наблюдается практически полная инактивация микроорганизмов.

Проанализируем, как изменяются выходные параметры модели установки очистки сточных вод при удалении из структурной схемы поочерёдно по одному блоку воздействия.

Предполагается, что вода проходит и через блок ультрафиолетовой обработки, но он не функционирует.

Отключение блока ультрафиолетового воздействия приводит к увеличению численности микроорганизмов в сточных водах, идущих на ультразвуковую установку, и, как следствие, при неизменной дозе и времени, приводит к увеличению выходных параметров по сравнению с рис. 2. Графическое отражение результатов представлено на рис. 4. Также наблюдается процентный рост патогенов и на блоке СВЧ воздействия рис.5.

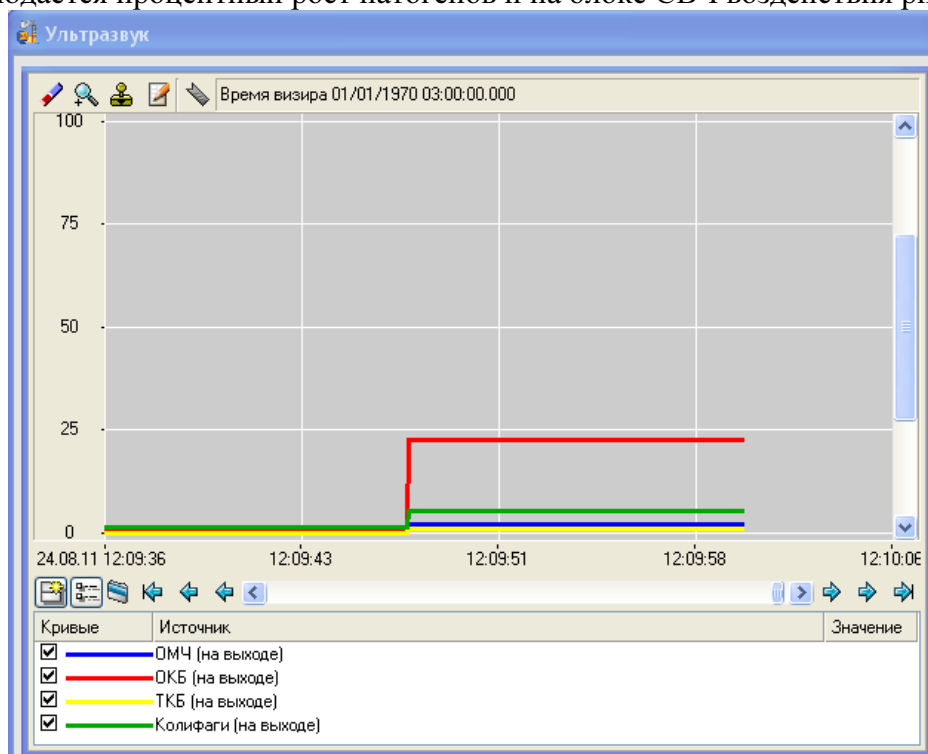


Рис. 4. Функция зависимости изменение численности микроорганизмов на выходе ультразвуковой установки при отключенном блоке ультрафиолетового воздействия

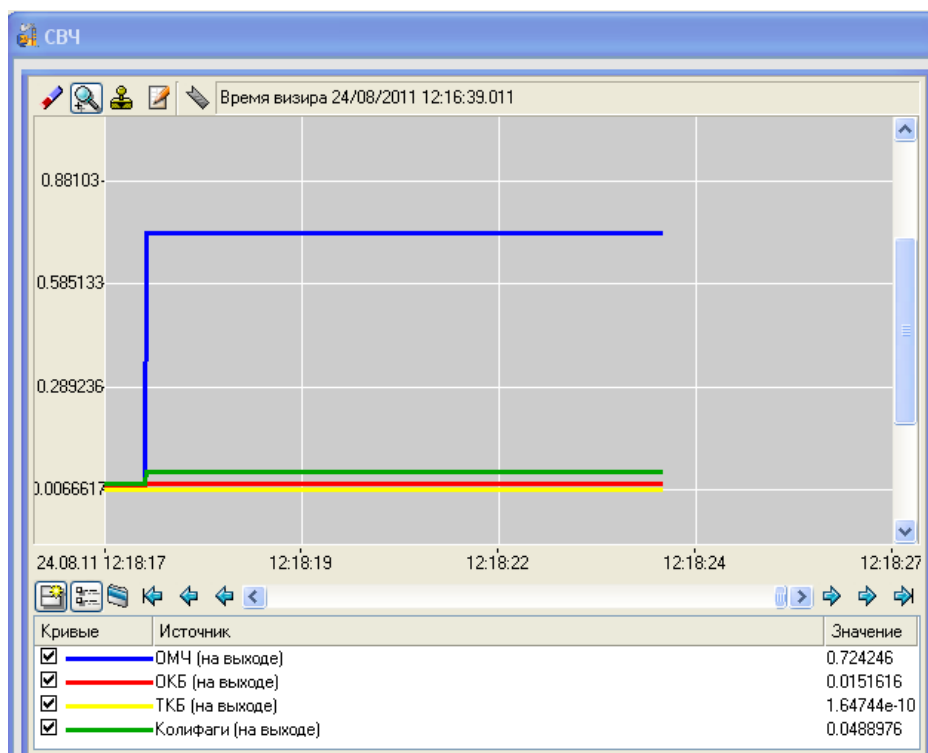


Рис. 5. Функция зависимости изменение численности микроорганизмов на выходе СВЧ установки при отключенном блоке ультрафиолетового воздействия

При отключении блока ультразвукового воздействия, так же, как и в предыдущем опыте, наблюдается рост численности болезнетворных микроорганизмов на выходе из установки СВЧ облучения по сравнению с моделью, где применяются все четыре блока.

Данная модель отражает увеличение численности болезнетворных микроорганизмов на выходе установки по сравнению с моделью, в состав которой входят четыре блока воздействия. Следовательно, можно сделать вывод, что все используемые методы обработки сточных вод не дублируют друг друга, а дополняют, что является необходимым для обеспечения требуемого уровня обеззараживания сточных вод при дальнейшем их использовании.

Список литературы

1. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий – М.: Наука, 1971. – 288с.
2. Алексеев С.Е. Применение озонирования для интенсификации процессов очистки природных и сточных вод // Водоочистка. – 2007. – №2. – С. 23 – 27.
3. Ахмедеев В.В., Волков С.В., Костюченко С.В. и др. Применение метода УФ – облучения для обеззараживания сточных вод // Вода и экология. – 2000. – №2. – С. 33 – 42.
4. Карпов В.Н. Фотометрические основы повышения эффективности использования электроэнергии в облучательных установках: Учеб. пос. – Л.: ЛСХИ, 1984. – 32 с.
5. Когановский А.М., Клименко Н.А. Физико-химические методы очистки промышленных сточных вод от поверхностно-активных веществ – К.: Наукова думка, 1974, – 159 с.
6. Померанцев В.В. К вопросу о механизме естественной циркуляции в паровых котлах [Текст] / Померанцев В.В., Сыркин С.Н. // «Труды ВИТГЭО», – М., 1939, вып.8.

7. Савлук О.С., Потапченко Н.Г., Илляшенко В.В. Изучение обеззараживания питьевой воды в макетной УФ – установке // Химия и технология воды. – 1993. – т. 15, № 11 – 12. – С. 797 – 803.
8. Хартман К. и др. Планирование эксперимента в исследовании технологических процессов – М.: Мир, 1977. – 552 с.

Рецензенты:

Артюхов И.И., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Электроснабжение промышленных предприятий», Саратовский государственный технический университет, г. Саратов.

Угаров Г.Г., д.т.н., профессор кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий», Саратовский государственный технический университет, г. Саратов.