

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ФИЛЬТРОВ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ (ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ)

У статті розглянута схема оборотного водопостачання підприємств по виробництву будівельної кераміки з використанням процесу гідродинамічного фільтрування. Встановлені залежності, для розрахунку залишкового вмісту зважених речовин залежно від вихідних концентрацій забруднень та витрати оброблюваної рідини на гідродинамічному фільтрі.

Ключові слова: промислові скидання, оборотне водопостачання, гідродинамічне фільтрування, концентрація, витрата.

В статье рассмотрена схема оборотного водоснабжения предприятий по производству строительной керамики с использованием процесса гидродинамического фильтрования. Установлены зависимости, для расчета остаточного содержания взвешенных веществ в зависимости от исходных концентраций загрязнений и расхода обрабатываемой жидкости.

Ключевые слова: промышленные стоки, оборотное водоснабжение, гидродинамическое фильтрование, концентрация, расход.

In the article the chart of circulating water-supply of enterprises is considered on the production of build ceramics with the use of process of hydrodynamic filtration. Dependences are set, for the calculation of remaining maintenance of the self-weighted matters depending on the initial concentrations of contaminations and expense of the processed liquid on a hydrodynamic filter.

Key words: industrial upcasts, circulating water-supply, hydrodynamic filtration, concentration, expense.

Постановка проблеми. Вода на промислових підприємствах необхідна для проведення технологічних процесів, на пожаротушення, а також на господарсько-питьові потреби. Кількість і якість технічної води, необхідне кожному підприємству, визначається масштабом і характером його технологічних процесів. Властивості використовуваної води, її витрати, застосовувані системи водопостачання в значительній ступені визначають якість і собівартість випущеної продукції, а також умови раціонального використання природних ресурсів.

Аналіз літератури. На сучасному етапі промислового виробництва визначаються напрямки раціонального використання природних ресурсів: більш повне використання і розширене виробництво ресурсів прісних вод; розробка нових технологічних процесів, що дозволяють уникнути забруднення водойм і звести до мінімуму витрати енергії, свіжої води і мінеральних ресурсів [1].

Виробництво будівельних матеріалів є однією з важливіших галузей промисловості АР Крим, т. к. існують хороші сировинні ресурси і великі ринки збуту готової продукції [2]. Особливістю виробництва будівельних матеріалів є можливість

використання місцевих мінеральних ресурсів, що в багатьох випадках впливає на склад стічних вод. В даний час на підприємствах по виробництву будівельних матеріалів більша частина виробничих і господарсько-бытовых стоків подається в міські каналізаційні мережі або після очищення скидається в водойми. В таких виробництвах мало розповсюджені системи оборотного водопостачання, що збільшує собівартість виробленої будівельної продукції через великий витрати води і енергії [3]. Тому розвиток галузі виробництва будівельних матеріалів пов'язаний з додатковими витратами на сировину, воду і енергію.

Резервом збереження водних ресурсів у виробництві є застосування оборотного водопостачання, в якому багато залежить від технології очищення стоків [4; 5]. При впровадженні оборотних систем промислового водопостачання існують додаткові резерви по зменшенню витрати свіжої води і зменшенню скидання очищених стоків в водойми. Очищення промислових стічних вод є складною технологічною і методичною задачею по розробці ефективних способів регенерації, які забезпечують повторне використання очищеної води в виробничому процесі.

Сточные воды (СВ) в производствах строительной керамики образуются при охлаждении оборудования, очистке аспирационного и пневмотранспортного воздуха, очистке оборудования и т. д. [3]. Поэтому СВ производств строительной керамики и фаянса загрязнены в основном частицами глины и в незначительном количестве отощающими добавками. Концентрация этих загрязнений составляет до 3 г/л, крупность частиц от 0,001 до 1 мм, а гидравлическая крупность частиц от 0,1 до 10 мм/с.

Особенностью стоков производства строительных материалов является то, что в них преобладают минеральные загрязнения, которые могут использоваться в производственном процессе как сырье. Для очистки таких видов стоков применяют различные методы, отличающиеся между собой энергозатратами [3]. На предприятиях по производству строительных материалов очистка СВ осуществляется в горизонтальных отстойниках при продолжительности отстаивания не менее 4 часов и механизированном удалении осадка. При повторном использовании очищенных СВ отстойники рассчитывают на осаждение частиц гидравлической крупностью не менее 0,2 мм/с. Частиц меньшей гидравлической крупности около 1% и они не влияют на производственные процессы. При необходимости более глубокой очистки стоков применяется фильтрование через сетчатые контейнеры с загрузкой из дробленых и отсортированных до крупности 1–2 мм отходов керамического производства со скоростью фильтрования 5–6 м/ч. Влажность осадка из отстойников колеблется в пределах 75–90%. После обезвоживания на иловых площадках-отстойниках осадок может использоваться в производстве кирпича и керамических труб как добавка к основной массе в количестве не более 20%; при отсутствии этих производств осадок вывозится на свалку.

Одним из современных способов очистки стоков от минеральных загрязнений является гидродинамическое фильтрование, которое отличается от других минимальными затратами, возможностью очистки загрязнений с размерами частиц до 25 мкм, самоочисткой фильтрующего элемента [6; 7].

Система водоснабжения промышленного предприятия представляет собой комплекс сооружений, оборудования и трубопроводов, обеспечивающих забор воды из природного источника, либо подачу воды из существующей водопроводной сети, очистку и ее обработку, транспортирование и подачу воды в соответствии с технологическим процессом потребителя требуемых расходов и качества. В системах технического водоснабжения предусматриваются

также оборудование и сооружения, необходимые для приема отработавшей воды и подготовки ее для повторного использования, а также станции очистки сточных вод.

Выбор способа или способов очистки жидкости, конструкции, места установки очистителя производится с учетом назначения жидкости, вида и степени исходной загрязненности, требуемой чистоты после очистки, порядка технического обслуживания и ремонта, а также технико-экономической эффективности мероприятий по очистке.

В настоящее время применение гидродинамических фильтров (ГДФ) для очистки промышленных СВ от нерастворимых загрязнений очень перспективны. ГДФ являются одним из современных способов очистки жидкости от нерастворимых примесей. В основу очистки жидкости в этих фильтрах положена гидродинамическая теория З. Л. Финкельштейна о движении частиц примесей в потоке жидкости вблизи фильтрующего элемента [6; 7].

Поверхностный фильтрующий элемент (ФЭ) представляет собой пластину, покрытую отверстиями определенного размера. При традиционной схеме очистки поток загрязненной жидкости направляется перпендикулярно плоскости ФЭ. На нем не задерживаются частицы, линейные размеры которых меньше размера фильтрующей ячейки. Частицы большего размера накапливаются со стороны подающего потока и постепенно закрывают отверстия ФЭ. В течение времени уменьшается его пропускная способность, повышается перепад давления на нем, а в конечном итоге ФЭ теряет работоспособность. Для ее восстановления ФЭ подлежит промывке, замене или регенерации. Для увеличения грязеемкости и срока службы необходимо значительно увеличивать поверхность или объем ФЭ. Поэтому такой способ очистки жидкости далек от совершенства по технико-экономическим показателям, так как на время очистки либо замены ФЭ необходимо предусмотреть дополнительные, резервные элементы либо периодическую работу без очистки.

В ГДФ поток жидкости, подлежащей очистке, направляется параллельно плоскости фильтроэлемента. Гидродинамические свойства ГДФ таковы, что через ячейки фильтра вместе с жидкостью проникают только те частицы, линейные размеры которых в 3–10 раз меньше размера ячейки. Большие частицы двигаясь в потоке жидкости удаляются потоком жидкости с ячеек фильтра, чем обеспечивают его непрерывную самоочистку. Поэтому ГДФ никогда не забивается частицами большего размера и без замены фильтроэлементов работают 7–10 лет без техни-

ческого обслуживания и ремонта. При этом ГДФ обеспечивают уменьшение перепада давления, повышение тонкости очистки, надежное предохранение от засорения.

В настоящее время на Украине серийно выпускаются ГДФ на пропускную способность от 4 л/мин. до 4000 м³/ч и тонкостью очистки 15–500 микрон [1]. Такая стабильная тонкость очистки, обеспечиваемая ГДФ, недостижима никакими другими очистителями при их эксплуатации в системах промышленного водоснабжения в производственных условиях.

Наибольшее применение ГДФ получили в промышленном водоснабжении, в основном в системах оборотного водоснабжения предприятий металлургической и угольной промышленности [6]. В таких системах достигнута высокая технико-экономическая эффективность за счет низкой стоимости, простоты конструкции; непрерывной самоочистки фильтрующей поверхности; увеличения срока службы; отсутствия технического обслуживания и снижения затрат на очистку; стабильной тонкости очистки и постоянного перепада давления не зависимо от загрязненности поступающей жидкости.

Применение ГДФ решает важнейшую проблему повышения экологической безопасности вредных промышленных производств, так как максимально сокращает объемы потребляемой для производственного процесса воды из поверхностных либо подземных источников, а также существенно сокращает объемы СВ, которые подвергаются очистке.

Оборотное водоснабжение, или безотходная система водоснабжения при производстве строительных материалов, является относительно малоизученным процессом. Это объясняется тем, что СВ содержат в основном минеральные загрязнения, источником которых являются местные минеральные ресурсы, что позволяет возвращать после систем очистки в природную среду. Малое распространение систем оборотного водоснабжения в производстве строительных материалов увеличивает их себестоимость, а также не обеспечивает рационального использования природных ресурсов из-за значительного расхода воды и минеральных ресурсов, уходящих в СВ, которые потенциально могут использоваться повторно в производстве. Использование преимуществ ГДФ позволяет существенно усовершенствовать систему оборотного водоснабжения при производстве строительных материалов с повышением его технико-экономической эффективности.

Цель статьи – разработать рекомендации по применению ГДФ в системах оборотного водоснабжения предприятий по производству

строительных материалов на основе комплекса экспериментальных исследований по обоснованию рациональных параметров процесса ГДФ, на основании полученных результатов разработать предложения по совершенствованию систем оборотного водоснабжения с оценкой технико-экономической эффективности и с учетом повышения рационального использования природных ресурсов.

Изложение основного материала. Для моделирования процесса очистки СВ производства строительных материалов с применением ГДФ разработана экспериментальная установка, общий вид которой показан на рис. 1, а ее схема – на рис. 2.



Рис. 1. Общий вид экспериментальной установки.

Установка состоит из бака 1, насосной станции 2, ГДФ 3, расходомера 4, манометра 5, трубопроводов 6–9 и регулирующей арматуры 11–13. Всасывающий трубопровод 10 предназначен для подачи загрязненной жидкости из бака 1 на насосную станцию 2, из которой по напорному трубопроводу 6 подается на ГДФ 3. После прохождения загрязненной воды через ГДФ 3 очищенная вода поступает в бак 1 по трубопроводу 7 через расходомер 4, а по трубопроводу 8 происходит сброс загрязнений, которые смываются с фильтроэлементов ГДФ 3. Регулировка параметров, настройка скорости фильтрации обеспечивается регулирующей арматурой 11–13. Для подачи на ГДФ 3 жидкости с необходимой скоростью служит вентиль 12, установленный на напорном трубопроводе 6, остальная часть жидкости сливается в бак 1 через безопасный трубопровод 9 и регулируется вентилем 11. Давление на ГДФ 3 регулируется вентилем 13 на трубопроводе 8.

сырье для производства строительной керамики (глина) высушивалось в сушильном шкафу, измельчалось в мелкодисперсную массу, после чего приготавливались навески сырья с заданной массой и влажностью. Добавляя навески в 1 л дистиллированной воды, были получены необходимый диапазон концентраций загрязнений СВ: 250; 500; 1000; 1500, 2000 мг/л. Предварительно, по оптическим свойствам смоделированной искусственной СВ и ее концентрации тарировался фотоэлектрокалориметр типа ФК-1У, по которому определялись остаточные концентрации загрязнений в жидкости после очистки в ГДФ.

Загрязненная жидкость с определенной концентрацией загрязнений заливалась в бак экспериментальной установки, а затем при различных величинах подачи на ГДФ определялась остаточная концентрация загрязнений ΔK . В результате предварительно проведенных экспериментальных исследований определены остаточные концентрации взвешенных веществ при расходах загрязненной жидкости в диапазоне $Q = 50\text{--}60$ л/мин. и при концентрациях исходных загрязнений в диапазоне $K_0 0,25\text{--}2$ г/л.

По результатам обработки экспериментальных данных предварительно установлены аналитические зависимости для определения остаточной концентрации ΔK от подачи на ГДФ загрязненной жидкости и ее исходной загрязненности.

На рис. 3 представлены результаты экспериментальных исследований и полученная аналитическая зависимость остаточной концентрации ΔK взвешенных веществ (г/л) от расхода (л/мин) при исходной концентрации загрязнений 0,5 г/л.

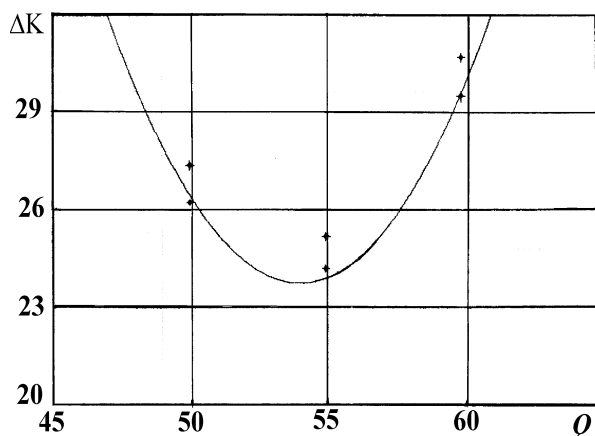


Рис. 3. Экспериментальные точки и аналитическая зависимость остаточной концентрации взвешенных веществ при расходе в диапазоне 50–60 л/мин. при исходной концентрации взвешенных веществ 0,5 г/л при коэффициенте корреляции 0,976.

В результате экспериментальных исследований установлено, что после очистки ГДФ принятой конструкции минимальная остаточная концентрация загрязнений достигает $\Delta K = 0,023 \dots 0,025$ г/л при концентрации исходных загрязнений $K_0 \leq 1$ г/л и практически не зависит от исходной концентрации. При увеличении исходной концентрации загрязнений остаточная концентрация взвешенных веществ увеличивается, и при $K_0 = 2$ г/л остаточная концентрация загрязнений достигает $\Delta K = 0,029 \dots 0,032$ г/л.

Результаты предварительных экспериментальных исследований остаточной концентрации загрязнений СВ производства керамических изделий после очистки ГДФ обобщены при помощи следующих уравнений в зависимости от расхода в л/мин.:

$$\text{при исходной концентрации } K_0 = 0,25 \text{ г/л} \\ \Delta K(Q) = 502,922 - 17,73 \times Q + 0,164 \times Q^2; \quad (1)$$

$$\text{при исходной концентрации } K_0 = 0,5 \text{ г/л} \\ \Delta K(Q) = 504 - 17,73 \times Q + 0,164 \times Q^2; \quad (2)$$

$$\text{при исходной концентрации } K_0 = 1 \text{ г/л} \\ \Delta K(Q) = 307,748 - 10,422 \times Q + 0,096 \times Q^2; \quad (3)$$

$$\text{при исходной концентрации } K_0 = 1,5 \text{ г/л} \\ \Delta K(Q) = 48,981 - 0,741 \times Q + 7,797 \times 10^{-3} \times Q^2; \quad (4)$$

$$\text{при исходной концентрации } K_0 = 2 \text{ г/л} \\ \Delta K(Q) = -242,121 + 10,103 \times Q - 0,093 \times Q^2. \quad (5)$$

Математическое моделирование процесса гидродинамического фильтрования СВ производства строительной керамики. Результаты предварительных стендовых исследований процесса позволили выполнить планирование двухфакторного эксперимента для создания обобщенной математической модели процесса очистки СВ с применением ГДФ. В качестве исследуемых параметров принимались исходная концентрация загрязнений и величина подачи загрязненной жидкости на фильтр.

Для эксперимента применялся метод ротатбельного планирования, который позволяет получать более точное математическое описание поверхности отклика по сравнению с ортогональным центрально композиционным планированием, что достигается благодаря увеличению числа опытов в центре плана эксперимента и специальному выбору величины звездного плеча $\alpha = 1,41$ [8].

Основные характеристики матрицы ротатбельного планирования для двухфакторного эксперимента [9]: число опытов факторного планирования – 4; число опытов в звездных точках – 4; число опытов в центре плана – 5; общее число опытов – 13.

При ротатбельном ЦКП для вычисления коэффициентов регрессии и соответствующих оценок дисперсии определены следующие константы:

$$A = \frac{1}{2B[(n+2)b-n]} = 0,5;$$

$$B = \frac{nN}{(n+2)(N-N_0)} = 0,81; \quad (6)$$

$$C = \frac{N}{N-N_0} = 1,63.$$

где n – число факторов;
 N – общее число опытов;
 N_0 – число опытов в центре плана.

Условия проведения эксперимента.

Фактор	X_1 , мг/л	X_2 , л/мин.	X_2^* , м/с
Верхний уровень	2000	60	0,5
Основной уровень	1500	55	0,46
Нижний уровень	250	60	0,42
Интервал варьирования	500	5	0,04

На основании результатов проведенных экспериментальных исследований вычислялись коэффициенты регрессии. Оценка дисперсии воспроизводимости выполнялась на основании результатов опытов, проведенных в центре плана. При переходе в уравнении регрессии от координированных переменных к физическим получено уравнение регрессии в виде:

$$\Delta K(K_0, Q) = 144,46 + 5,8 \times 10^{-3} \times \Delta K^2 - 7,34 \times 10^{-3} \times \Delta K + 3,84 \times 10^{-2} \times Q^2 - 4,224 \times Q, \quad (7)$$

где K_0 – исходная концентрация взвешенных веществ, мг/л;
 Q – расход СВ, л/мин.

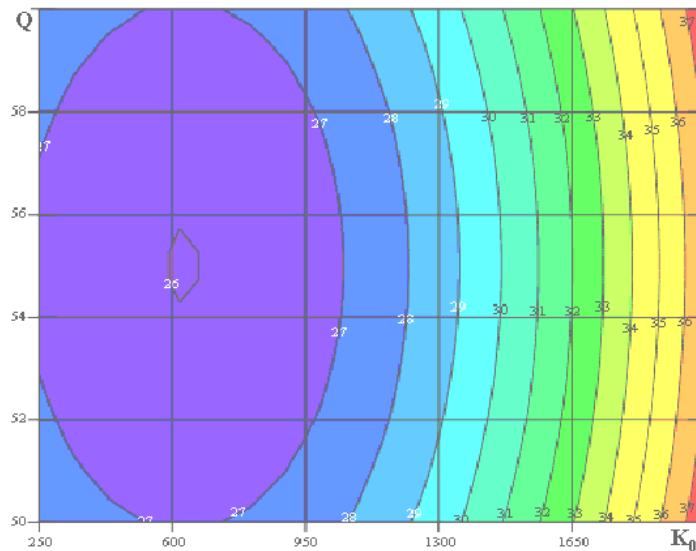


Рис. 4. Номограмма для определения остаточной концентрации взвешенных веществ после ГДФ в зависимости от исходной концентрации – K_0 , мг/л и расхода СВ – Q , л/мин.

Анализ представленной зависимости показал, что при загрязнении СВ с исходной концентрацией взвешенных веществ $K_0 \leq 1000$ мг/л ГДФ позволяет ее очистить до остаточной концентрации взвешенных веществ $K_0 \leq 30$ мг/л. Минимальный уровень остаточной концентра-

ции достигается при расходе СВ на фильтре рассмотренной конструкции $Q = 55$ л/мин., что соответствует скорости жидкости на фильтре $v = 0,46$ м/с.

Следует отметить, что при исходной концентрации взвешенных веществ $K_0 > 1000$ мг/л

Проверку адекватности уравнения регрессии осуществляют с помощью критерия Фишера [10–12]. По результатам предварительных экспериментов по очистке искусственной СВ на ГДФ по зависимостям (1)–(5) определены точки в окрестностях, которых был составлен план двухфакторного эксперимента.

При этом принято X_1 – концентрация взвешенных веществ на входе в фильтр, X_2 – расход (X_2^* – скорость) жидкости на ГДФ. Условия эксперимента представлены в табл. 2.

Таблица 2.

Следовательно, на основании результатов экспериментальных исследований обработки СВ производства строительной керамики на ГДФ получена математическая модель протекающего процесса.

Данная модель позволяет получить поверхность отклика для описания процесса гидродинамического фильтрования СВ производства строительной керамики, а также представить номограмму (рис. 4) для определения остаточного содержания взвешенных веществ в зависимости от подачи исходного содержания взвешенных веществ в СВ.

остаточная концентрация практически не зависит от величины подачи, а определяется только исходной концентрацией.

Таким образом, экспериментально установлены параметры ГДФ, которые могут служить основой для разработки современной технологической схемы оборотного водоснабжения производства строительных материалов. Полученная остаточная концентрация взвешенных веществ после ГДФ достаточна, чтобы очищенные СВ можно было повторно применять в производственном процессе, а отделяемые загрязнения повторно использовать при производстве строительных материалов.

Внедрение в производство строительных материалов систем оборотного водоснабжения с применением ГДФ позволяет эффективно использовать их преимущества, что обеспечивает более рациональное использование природных ресурсов.

Выводы. На основе выполненного анализа установлена целесообразность применения гидродинамических фильтров в системах оборотного водоснабжения производства строительных материалов. Разработан стенд для экспериментальных исследований процессов ГДФ сточных вод производства строительной керамики. Проведены предварительные исследования остаточной концентрации взвешенных веществ в искусственных сточных водах, которыми моделировались стоки производства строительной керамики.

Разработан план двухфакторного эксперимента по гидродинамической очистке, проведены исследования и получено уравнение регрессии, характеризующее процесс удаления взвешенных веществ из сточных вод производства строительных материалов.

Установлены зависимости, позволяющие рассчитать остаточное содержание взвешенных веществ в зависимости от исходных концентраций загрязнений и расхода обрабатываемой жидкости на гидродинамическом фильтре.

Установлены рациональные параметры ГДФ, которые позволяют разрабатывать современные технологические схемы оборотного водоснабжения производства строительных мате-

риалов. Применение таких схем промышленного оборотного водоснабжения обеспечит рациональное использование природных ресурсов в производстве строительных материалов, так как существенно сокращается потребление воды из природных источников, а загрязнения, удаленные из сточных вод, могут быть использованы для основного производственного процесса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Громов Б. В. Проблемы развития безотходных производств / Б. В. Громов, Б. Н. Ласкорин. – М. : Стройиздат, 1985. – 256 с.
2. Лушпаева П. П. Строительные материалы Крыма / П. П. Лушпаева. – Симферополь : Таврия, 1987 – 160 с.
3. Проектирование предприятий по производству строительных материалов и изделий / [Ю. М. Баженов, Л. А. Алимов, В. В. Ворокина, Н. В. Трескева]. – М. : Издательство АСВ, 2005. – 472 с.
4. Алферова А. А. П. Замкнутые системы водного хозяйства промышленных предприятий, комплексов и районов / А. А. Алферова, А. П. Нечаев. – М., 1987. – 86 с.
5. Когановский А. М. Очистка и использование сточных вод в промышленном водоснабжении / А. М. Когановский. – М. : Химия, 1983. – 232 с.
6. Финкельштейн З. Л. Применение и очистка рабочих жидкостей для горных машин / З. Л. Финкельштейн. – М. : Недра, 1986. – 232 с.
7. Финкельштейн З. Л. Расчет гидродинамических фильтров / З. Л. Финкельштейн // Пневматика и гидравлика. Приводы и системы управления. – М., 1979. – Вып. 7. – С. 232–240.
8. Саутин С. Н. Планирование эксперимента в химии и химической технологии / С. Н. Саутин. – Л. : Химия, 1975. – 48 с.
9. Адлер Ю. Н. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю. Н. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. – М. : Наука, 1973. – 280 с.
10. Рузинов Л. П. Статические методы оптимизации химических процессов / Л. П. Рузинов. – М. : Химия 1972. – 200 с.
11. Тихомиров В. Б. Планирование и анализ эксперимента / В. Б. Тихомиров. – М. : Легкая индустрия, 1970. – 262 с.
12. Хикс Ч. Основные принципы планирования эксперимента / Ч. Хикс. – М. : Мир, 1967. – 406 с.