



СӘУЛЕТ ЖӘНЕ ҚҰРЫЛЫС
АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО
ARCHITECTURE AND CONSTRUCTION

DOI 10.51885/1561-4212_2023_4_239
MPHTI 67.53.17

**В.П. Колпакова¹, Ю.Н. Еремеева¹, С.Б. Анапьянова¹, Г.К. Мамырбекова¹,
Р.Т. Нурекенова¹, А.А. Сапарова²**

¹НАО «Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева»,

г. Усть-Каменогорск, Казахстан

E-mail: vkolpakova53@mail.ru

E-mail: yereyeva83@mail.ru*

E-mail: samala.79@mail.ru

E-mail: gkabibolla@mail.ru

E-mail: rnurekenova64@mail.ru

²ТОО «Бакырчикское горнодобывающее предприятие», г. Усть-Каменогорск, Казахстан

E-mail: Magomedova.asiana@yandex.ru

**ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ТОНКОСЛОЙНОГО ОТСТАИВАНИЯ
ДЛЯ ОЧИСТКИ ХОЗЯЙСТВЕННО-БЫТОВЫХ СТОЧНЫХ ВОД
ШАРУАШЫЛЫҚ-ТҰРМЫСТЫҚ САРҚЫНДЫ СУЛАРДЫ ТАЗАРТУ ҮШІН
ЖҰҚА ҚАБАТТЫҚ ТҮНДЫРУ ПРОЦЕСІН ЗЕРТТЕУ
STUDIES OF THIN-LAYER SEDIMENTATION PROCESSES FOR
THE TREATMENT OF DOMESTIC WASTEWATER**

Аннотация. Проблемы очистки сточных вод являются особо важными и актуальными в связи с постоянным ростом водопотребления, индустриального развития и повышением требований к качеству очистки воды. Основные объекты водоотводящих систем рассчитаны на длительный период эксплуатации, в течение которого исходные условия их функционирования вполне закономерно изменяются. Ухудшение экологической обстановки требует изменения степени очистки сточных вод. Сегодня большинство очистных сооружений не в состоянии обеспечить требуемый эффект очистки в соответствии с существующими нормативами. Часто при разделении гетерогенных систем используются отстойники. Однако такой способ очистки городских сточных вод в современных условиях часто является малоэффективным и используется на предварительных этапах очистки жидкостей. Для повышения эффективности в несколько раз используются отстойники с тонкослойными блоками (модулями) в виде специальных сепарирующих пластин и труб. Их сравнительно небольшая глубина позволяет осветлять жидкость за 4-10 минут нахождения ее в рабочей зоне. При этом габариты агрегатов значительно ниже, чем у отстойников других конструкций. Простая конструкция и доступные материалы позволяют изготавливать отстойники данного типа на любом производстве.

Таким образом, актуальностью темы является расширение области применения тонкослойного отстаивания для повышения эффективности очистки городских сточных вод.

Цель работы – определение оптимальных параметров тонкослойных модулей для интенсификации работы отстойников при очистке городских сточных вод.

В исследованиях применены теоретические и экспериментальные методы, комплексный анализ, системный подход, метод выборочных наблюдений, метод сравнения и группировки. На основе лабораторных исследований с использованием специальных установок, смоделированных по типу работы тонкослойных трубчатых блоков для эффективного отстаивания, определены их оптимальные параметры.

Практическая значимость работы заключается в том, что предложенные параметры тонкослойных модулей могут быть применимы для повышения эффективности процессов очистки сточных вод как при реконструкции существующих отстойников, так и при устройстве новых сооружений. Теоретическая

значимость полученных результатов заключается в исследовании основ тонкослойного отстаивания для интенсификации процессов очистки сточных вод.

Ключевые слова: отстойники, тонкослойное отстаивание, очистка сточных вод, тонкослойные модули.

Аңдатпа. Сарқынды суларды тазарту мәселелері суды тұтынудың үнемі өсуіне және суды тазарту сапасына қойылатын талаптардың артуы мен индустриалды дамуына байланысты ерекше маңызды және өзекті болып табылады. Лас суды әкету жүйелерінің негізгі объектілері ұзақ уақыт жұмыс істеуге арналған, осы уақыт барысында олардың жұмыс істеуінің бастапқы шарттары заңды түрде өзгереді. Экологиялық жағдайдың нашарлауы ағынды суларды тазарту дәрежесін өзгертуді талап етеді. Сарқынды суларды тазарту мәселесі барған сайын күрделі болып келеді, өйткені тазарту ғимараттарының көпшілігі қолданыстағы стандарттарға сәйкес қажетті тазарту тиімділігін қамтамасыз ете алмайды. Гетерогенді жүйелерді бөлу кезінде тұндырғыштар жиі қолданылады. Дегенмен, қазіргі заманғы жағдайларда қалалық ағынды суларды тазартудың бұл әдісі көбінесе тиімсіз және сұйықтықты тазартудың алдын ала сатыларында қолданылады. иімділікті бірнеше есе арттыру үшін арнайы бөлігіш пластиналар мен құбырлар түріндегі жұқа қабатты блоктары (модульдері) бар тұндырғыштар қолданылады. Олардың салыстырмалы түрде шағын тереңдігі, жұмыс аймағында 4-10 минут болу сұйықтықты тазартуға мүмкіндік береді. Ал қондырғылардың өлшемдері тұндырғыштардың басқа құрылымдық түрлерінен әлдеқайда төмен. Қарапайым дизайн және қол жетімді материалдар кез келген өндірісте тұндырғыштың осы түрін жасауға мүмкіндік береді.

Сонымен, тақырыптың өзектілігі су объектілеріне кері әсерді жою мақсатында қалалық сарқынды суларды тазарту тиімділігін арттыру үшін жұқа қабатты тұндырғыштарды қолдану аясын кеңейту болып табылады.

Жұмыстың мақсаты – қалалық сарқынды суларды тазарту кезінде тұндырғыштардың жұмысын қарқындату үшін жұқа қабатты модульдердің оңтайлы параметрлерін анықтау.

Зерттеуде теориялық және эксперименттік әдістер, кешенді талдау, жүйелік тәсіл, таңдамалы бақылау әдісі, салыстыру және топтастыру әдісі қолданылды. Тиімді тұндыру үшін жұқа қабатты құбырлы блоктардың жұмыс түріне сәйкес үлгіленген арнайы қондырғыларды қолдану арқылы зертханалық зерттеулер негізінде олардың оңтайлы параметрлері анықталды.

Жұмыстың практикалық маңыздылығы мынада: жұқа қабатты модульдердің ұсынылған параметрлері сарқынды суларды тазарту процестерінің тиімділігін арттыру үшін қолданыстағы тұндырғыштарды қайта құру кезінде және жаңа құрылымдарды салу кезінде де қолданылуы мүмкін. Алынған нәтижелердің теориялық маңыздылығы сарқынды суларды тазарту процестерін қарқындату үшін жұқа қабатты тұндыру негіздерін зерттеуде жатыр.

Түйін сөздер: тұндырғыштар, жұқа қабатты тұндыру, сарқынды суларды тазарту, жұқа қабатты модульдар.

Abstract. The problems of wastewater treatment are particularly important and relevant due to the constant growth of water consumption, industrial development and increasing requirements for the quality of water treatment. The main objects of drainage systems are designed for a long period of operation, during which the initial conditions of their functioning naturally change. As the environmental situation deteriorates, wastewater treatment must be modified. Wastewater treatment has become increasingly problematic, as most treatment facilities are not capable of providing the required treatment effect. The sedimentation tank is often used to separate heterogeneous systems. This method, however, is often ineffective in modern conditions and is used in the preliminary stages of liquid treatment. Thin-layer blocks (modules) in the form of special separation plates and pipes are used in settling tanks to increase efficiency several times. The relatively shallow depth allows to clarify liquids in 4-10 minutes after they enter the working zone. In addition, the dimensions of the units are much smaller than those of sedimentation tanks in other structures. Simple design and readily available materials make this type of settling tank possible to produce in any production facility. This topic is relevant to increasing the efficiency of urban wastewater treatment by applying thin-layer settling, in order to eliminate the negative impact on water bodies.

Its aim is to determine the optimal parameters of thin-layer modules for intensifying the work of sumps in urban wastewater treatment.

Research methods included theoretical and experimental analyses, systematic approaches, selective observations, comparisons, and groupings. A laboratory study using special equipment has determined the optimal parameters of thin-layer tubular blocks.

Its practical significance lies in the fact that the parameters of thin-layer modules can be used to improve waste water treatment efficiency during the reconstruction of existing settling tanks as well as when building new buildings. The theoretical significance of the obtained results lies in the study of thin-layer settling for intensifying wastewater treatment.

Keywords: settling tanks, thin-layer settling, wastewater treatment, thin-layer modules.

Введение. Традиционное оборудование для отстаивания вод в виде отстойников достаточно громоздко и требует значительных площадей для размещения. Применение принципа тонкослойного отстаивания позволяет устранить этот недостаток, сохраняя основные достоинства устройств, работающих по принципу гравитационной сепарации: низкую себестоимость и эксплуатационные расходы. Одновременно это позволит получить высокое качество очищенной воды и снизить их антропогенное воздействие на водные объекты в условиях индустриального развития населенных пунктов.

Литературный обзор. Технология тонкослойного отстаивания опирается на актуальные исследования в области динамики потока и конструктивные возможности современных материалов. Более того, данная технология, достаточно актуальна в современном густонаселенном мире с его растущей потребностью в решениях по очистке воды и повышенными требованиями к компактности оборудования [1].

При прочих равных условиях, уменьшая глубину отстойника можно повысить эффект очистки, либо при аналогичном эффекте увеличить его производительность. Целесообразность интенсификации процесса осветления воды посредством уменьшения высоты слоя отстаивания в дальнейшем отмечали также Т. Камп, В. Меркел, С. Фишерстон и многие другие авторы. Так, по мнению Т. Кампа и В. Меркеля [2] наилучших условий для работы канализационных отстойников можно достичь путем устройства в длинном горизонтальном отстойнике полок параллельно дну с небольшими просветами. С. Фишерстон и М.В. Демура, анализируя устойчивость гидравлического режима горизонтальных отстойников при поступлении жидкости с равной температурой или концентрацией взвеси, отмечают, что для создания стабильного потока важно, чтобы число Рейнольдса (Re) было возможно меньше и приближалось к 500, а число Фруда (Fr) было наибольшее и во всяком случае более 10^5 . Одновременно удовлетворить этим двум условиям можно только посредством уменьшения гидравлического радиуса потока в отстойнике, откуда делается вывод о целесообразности деления потока в отстойнике горизонтальными, вертикальными или наклонными перегородками на ряд элементарных потоков. Принцип расчета отстойников с тонкослойными модулями компании ARGEL основан на нормативной документации, по которой рассчитываются основные параметры отстойников при учете показателя числа Рейнольдса [3]. Внутри модуля вода течет снизу-вверх [4].

Одним из видов подобных полочных нефтеловушек выступает напорный полочный отстойник. Я.А. Карелин и А.Г. Соколов еще в 1968 году в своем экспериментальном исследовании по очистке сточных вод от эмульгированной нефти установили, что ее остаточное содержание в воде после отстойника зависит от профиля полки.

Тонкослойные элементы (модули) по геометрии поперечного сечения можно разделить на пластинчатые и трубчатые. Последние имеют круглую, квадратную, шестиугольную и ромбовидную форму [5].

В работе [6] рассмотрены пути повышения эффективности работы тонкослойных отстойных сооружений путем выбора рационального объема камеры флокуляции. Авторами [7] рассмотрен процесс тонкослойного отстаивания в условиях современной технологии водоподготовки, при этом отмечены недостатки эксплуатации тонкослойного отстаивания, связанного с возможным выносом загрязнений при возникновении турбулентности потока движущейся воды. В исследовании А.Г. Лаптева и М.М. Башарова уделяли внимание определению эффективности тонкослойных отстойников при турбулентном режиме движения воды [8]. Особенности распределения воды в тонкослойных модулях между пластинами легли в основу работы Н.В. Земляной, С.В. Аракчеевой, Т.С. Мадрика и К.А. Маненко [9]. Авторы [10] в своем исследовании пришли к выводу, что повышение эффективности очистки поверхностных стоков можно достичь путем замены

блока тонкослойного отстаивания тремя последовательно установленными блоками профилированных листов волнистого профиля с отверстиями в выступах и впадинах. Большой интерес вызывают работы отечественных и зарубежных исследователей, в которых осуществляется моделирование процесса осаждения [11, 12]. Зарубежный опыт в данной области представлен в научно-исследовательской статье [13], в которой представлен гидродинамический расчет при увеличении количества наклонных пластин. Пути повышения эффективности работы сооружений механической очистки сточных вод с применением тонкослойного отстаивания рассмотрены авторами в работе [14]. Зарубежный опыт тонкослойного отстаивания широко освещен в книге [15]. Применение тонкослойного отстаивания представлено в конструкциях, описанных в патентах [16, 17, 18].

Материалы и методы исследования. Эффективность процессов отстаивания оценивается по массовой концентрации взвешенных веществ в отстаиваемой воде. Выполнение измерений массовой концентрации взвешенных веществ (более 5 мг/дм³) и общего содержания примесей (более 10 мг/дм³) в очищенных сточных водах в процессе исследований осуществлялось гравиметрическим способом по стандартной методике (СТ РК 3068-2017) [19] с соблюдением условий температуры окружающего воздуха, атмосферного давления и относительной влажности (не более 80 %) в лаборатории. Гравиметрический метод определения массовой концентрации взвешенных веществ основан на фильтровании пробы воды через бумажный обеззоленный фильтр «белая лента» (ТУ 2642-001-42624157-98) диаметром 125 мм и взвешивании фильтра с осадком после высушивания его при (105± 2) °С в течение 2 часов до постоянной массы. Охлаждают бюксы с фильтрами в эксикаторе и, закрыв их крышками, взвешивают. Повторяют процедуру сушки до тех пор, пока разница между взвешиваниями будет не более 0,5 мг. По готовности фильтра выполняют измерения. Массовую концентрацию взвешенных веществ в воде X (мг/дм³) рассчитывают по формуле:

$$X = (m_2 - m_1) 1000 / V \quad (1)$$

где m_2 – масса бюкса с фильтром с осадком из взвешенных веществ, г; m_1 – масса бюкса с фильтром без осадка, г; V – объем профильтрованной пробы воды, дм³.

Необходимый эффект очистки сточных вод определяется по формуле:

$$\Theta = \frac{X_{исх} - X_{оч}}{X_{исх}} \cdot 100\% \quad (2)$$

где $X_{исх}$ – концентрация взвешенных веществ в сточной воде, поступающей на очистку, мг/л; $X_{оч}$ – концентрация взвешенных веществ в сточной воде после очистки, мг/л.

Для определения оптимального угла наклона тонкослойных трубчатых модулей при осветлении биологически очищенных сточных вод были использованы реальные хозяйственно-бытовые сточные воды, поступающие на Левобережные очистные сооружения г. Усть-Каменогорск и прошедшие этап биологической очистки в аэротенках, перед поступлением их на дальнейшую очистку во вторичные радиальные отстойники для отделения активного ила. После тщательного перемешивания исследуемой воды из нее отбирались пробы объемом 100 мл для определения начальной концентрации взвеси ($X_{исх}$, мг/л). Для проведения лабораторных исследований была использована установка, смоделированная по принципу действия тонкослойного отстойника с трубчатыми блоками (цилиндрами), которые устанавливались под углами (прямое отстаивание), 45 и 60 градусов (рис. 1, 2, 3) при $t_1 = 15$, $t_2 = 30$, $t_3 = 45$ минут считая от начала опыта.

По истечении времени отстаивания (t_1 , t_2 , t_3) из каждого цилиндра были отобраны в колбы пробы объемом 50 мл для определения концентрации взвешенных веществ по стандартной методике. Опыт повторялся трижды для получения более достоверных данных. После получения массовых концентраций взвешенных веществ ($X_{исх}$ и $X_{оч}$) был

выполнен расчет эффекта отстаивания (Θ).

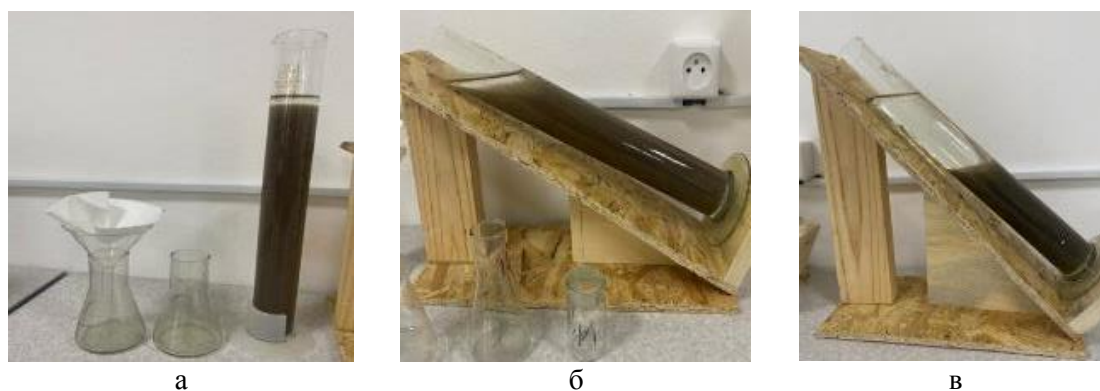


Рисунок 1. Отстаивание при $t = 15$ минут: а – прямое отстаивание (0°), б – под углом 45° , в – под углом 60°

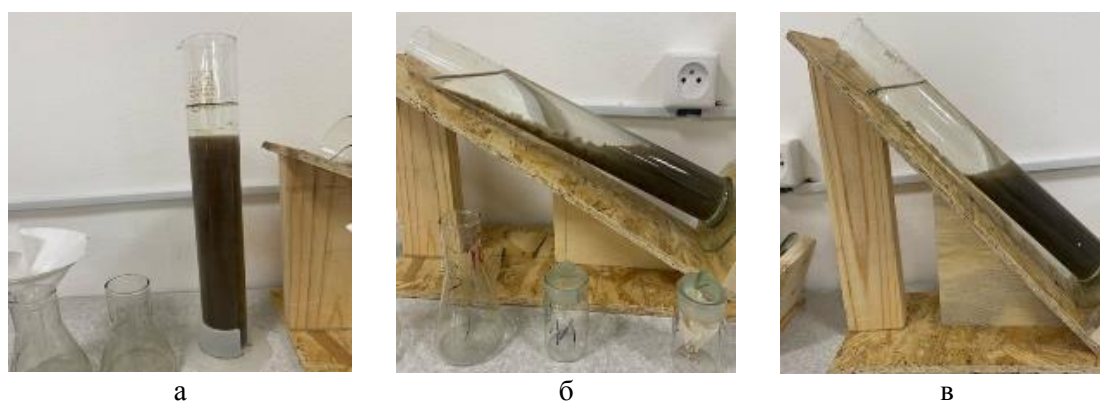


Рисунок 2. Отстаивание при $t = 30$ минут: а – прямое отстаивание (0°), б – под углом 45° , в – под углом 60°

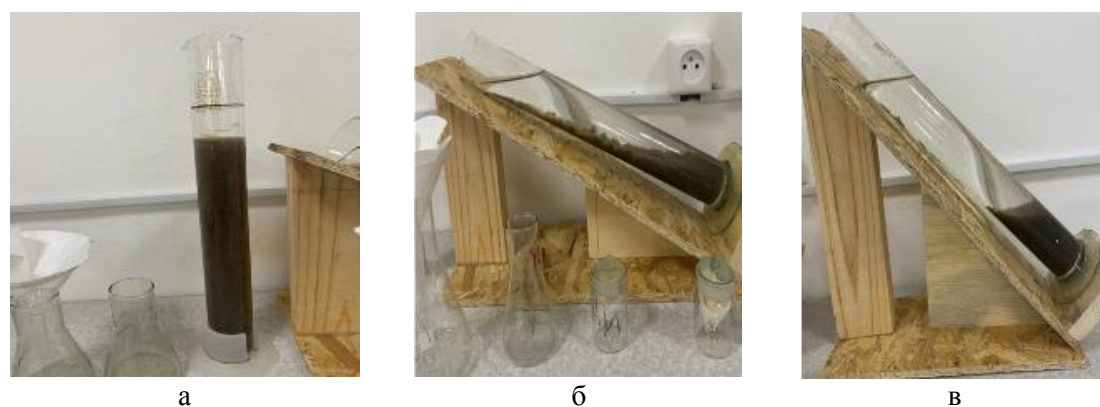


Рисунок 3. Отстаивание при $t = 45$ минут: а – прямое отстаивание (0°), б – под углом 45° , в – под углом 60°

Результаты и их обсуждения. Анализ результатов экспериментальных исследований

при отстаивании биологически очищенных сточных вод представлен в табл. 1.

Таблица 1. Данные, полученные при отстаивании биологически очищенных сточных вод

При времени отстаивания t , мин	Название пробы	m_1 (г)	m_2 (г)	X (мг/дм ³)		Ξ (%)
				$X_{исх}$	$X_{оч}$	
	Исходная вода	46,6286	61,0756	288,94		
$t_1=15$ минут	Под углом 0°	50,4182	60,8544		208,716	27,76
	Под углом 45 °	45,9871	54,3523		177,304	38,63
	Под углом 60 °	50,0246	57,2338		134,184	53,55
$t_2 = 30$ минут	Под углом 0°	45,8793	56,082		205,854	28,77
	Под углом 45 °	45,8041	53,9143		162,204	43,86
	Под углом 60 °	47,7923	53,7340		118,834	58,87
$t_3= 45$ минут	Под углом 0°	43,5559	52,8221		185,324	35,89
	Под углом 45 °	45,8871	53,1439		145,136	49,76
	Под углом 60 °	44,9298	50,509		111,584	61,38

На рис. 4 представлен график кривых зависимости массовой концентрации взвешенных веществ в ($X_{оч}$) при времени отстаивания $t_1=15$ минут, $t_2 = 30$ минут, $t_3 = 45$ минут биологически очищенных сточных вод.

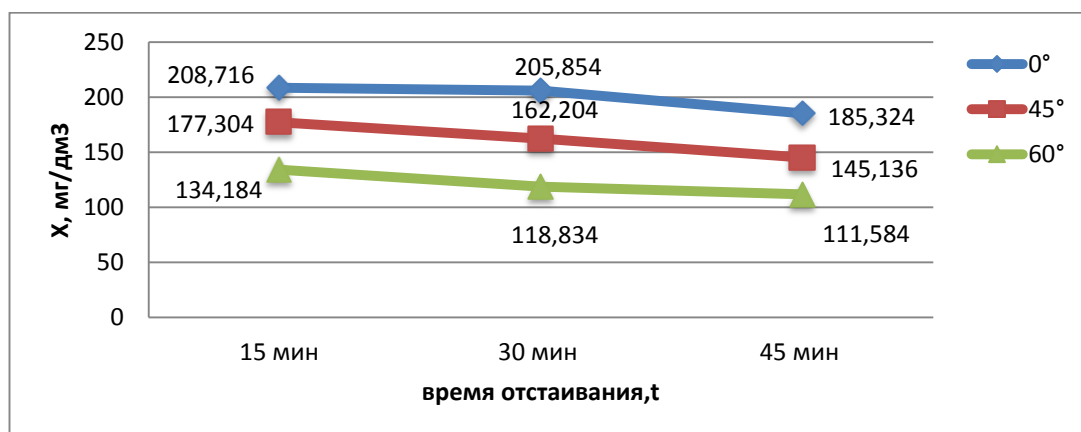


Рисунок 4. График зависимости массовой концентрации взвешенных веществ от времени отстаивания биологически очищенных сточных вод

Согласно графика на рис. 4, за время проведения опыта с интервалами времени отстаивания от 15 до 45 минут, ($X_{оч}$) варьируется в пределах от 111,584 до 208,716 до мг/дм³. При $t = 15$ минут, максимальная ($X_{оч}$) составляет 208,716 мг/дм³, минимальная величина при данном времени отстаивания равна 134,184 мг/дм³. При времени отстаивания равном 45 минутам, ($X_{оч}$) сократится с 185,324 до 111,584 мг/дм³.

На рис. 5 представлен график кривых зависимости массовой концентрации взвешенных веществ (мг/дм³) от угла наклона отстаивания.

Исходя из данных рис. 5, можно сделать вывод, что максимальная массовая

концентрация ($X_{оч}$) наблюдается при прямом отстаивании и составляет 208,716 мг/дм³. Наименьшая ($X_{оч}$) при прямом отстаивании составляет 185,324 мг/дм³. При отстаивании под углом 45° ($X_{оч}$) сокращается с 177,304 мг/дм³ до 145,136 мг/дм³. При наибольшем угле отстаивания равном 60° показатель имеет наименьшие значения и варьируется от 134,184 мг/дм³ до 111,584 мг/дм³.

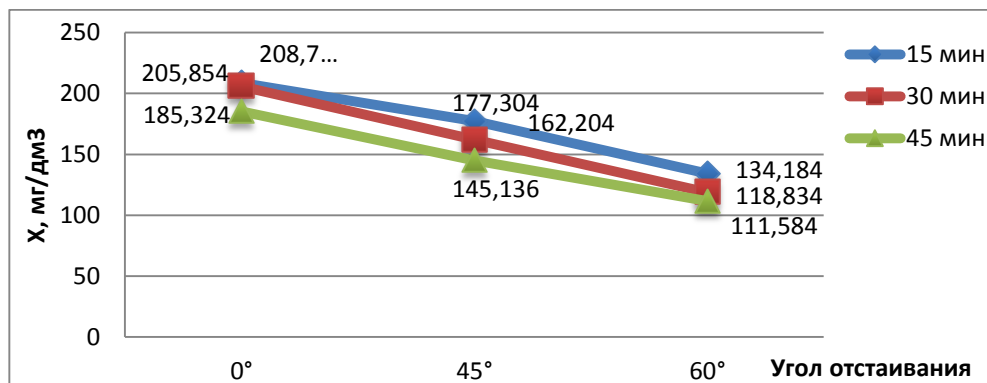


Рисунок 5. График зависимости массовой концентрации взвешенных веществ от угла наклона отстаивания

На рис. 6 изображен график динамики показателей эффекта очистки (\mathcal{E} , %) от угла наклона тонкослойного модуля при времени отстаивания $t_1=15$ минут, $t_2 = 30$ минут, $t_3 = 45$ минут.

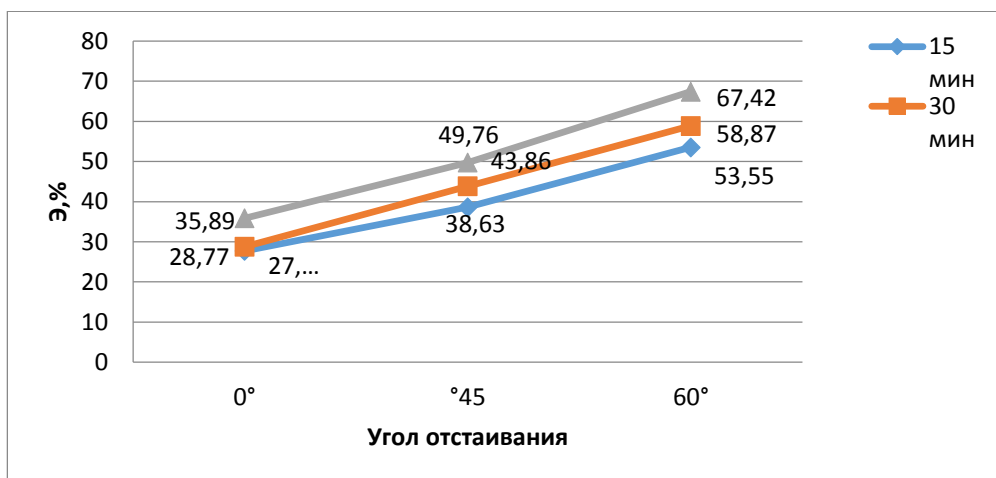


Рисунок 6. График зависимости изменения эффекта очистки (\mathcal{E} , %) от угла наклона тонкослойного модуля

Согласно данным рис. 6, значения показателя эффекта очистки (\mathcal{E} , %) варьируются в пределах от 27,76 % до 67,42 %, минимальные значения отмечены при прямом отстаивании и изменяются от 27,76 % до 35,89 %, максимальные значения показателя (\mathcal{E} , %) отмечаются при отстаивании под углом 60° и варьируются от 53,55 % до 67,42 %.

Заключение. По итогам выполненных исследований и принимая во внимание главную цель работы – интенсификацию очистки сточных вод с применением метода тонкослойного отстаивания на основе более полного учета конкретных факторов,

влияющих на этот процесс, и проанализировав данные, приведенные в литературе, можно сделать следующие выводы:

1. Применение процессов тонкослойного отстаивания достаточно перспективно в современной технологии очистки воды и основных тенденциях в области их исследования и конструирования, которые направлены на изучение технологической и экономической эффективности, расширение области применения, совершенствование методики расчета и разработку наиболее приемлемых конструкций, учитывающих специфику процессов очистки воды;

2. Для изготовления тонкослойных элементов можно использовать стекло, оцинкованное железо, полиэтиленовую пленку, полиэтиленовые профилированные листы, полипропилен, винипласт, полихлорвиниловый и полистирольный пластик, армированную полихлорвиниловую пленку и другие материалы;

3. Угол наклона пластин тонкослойного модуля во многом влияет на эффективность очистки стоков в отстойнике; оптимальная величина находится в пределах $45 - 60^\circ$; так как турбулентный поток увеличивает «несущую» способность жидкости, внутри отстойника организуется ламинарное течение воды, что повышает степень их осветления; чем больше угол наклона, тем эффективнее протекает процесс осаждения, а именно под углом 60 градусов;

4. При осветлении биологически очищенных сточных вод значения ($X_{оч}$) колеблются в пределах от 111 до 228 мг/дм³. Минимальные значения $X_{оч}$ (111 мг/дм³, 118 мг/дм³, 126 мг/дм³) отмечены при отстаивании под углом 60° ; Максимальные значения $X_{оч}$ (203 мг/дм³, 208 мг/дм³, 218 мг/дм³) получены при отстаивании под углом 0° (прямое отстаивание);

5. Значения показателя эффекта очистки (\mathcal{E} , %) при осветлении биологически очищенных сточных вод варьируются от $12,65$ до $63,3$ %. Наименьший $\mathcal{E} = 12,65$ % наблюдается при осветлении под углом 0° при $t = 15$ минут; Наибольшее значение показателя $\mathcal{E} = 63,3\%$ отмечается при отстаивании под углом 60° при времени отстаивания $t = 45$ минут;

6. Взамен существующих отстойников на Левобережных очистных сооружениях г. Усть-Каменогорска предложен альтернативный вариант, предполагающий использование радиальных отстойников с тем же диаметром, оборудованных тонкослойными модулями. По результатам расчета было выявлено, что для обеспечения требуемой производительности которой обладают 6 действующих отстойников, достаточно для эксплуатации двух, того же диаметра, оборудованных тонкослойными модулями;

7. При применении тонкослойных модулей значительно сокращаются капитальные затраты, т.к. при одной и той же пропускной способности сооружений площади и строительные объемы отстойников можно уменьшить в разы. Одновременно с этим растет показатель эффективности отстаивания, т.к. тонкослойное отстаивание позволяет задерживать на коротком участке отстойника частицы меньшей гидравлической крупности.

8. Применение тонкослойного отстаивания при очистке хозяйственно-бытовых сточных вод на очистных сооружениях Левобережной станции аэрации г. Усть-Каменогорск, сбрасывающих очищенные сточные воды в р. Ертис в объеме 120 тыс. м³/сут, позволит снизить антропогенную нагрузку и отрицательное влияние на водную экосистему бассейна р. Ертис в условиях индустриального развития г. Усть-Каменогорска в Восточно-Казахстанской области.

Данное исследование финансируется Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № BR21881921 «Оценка водной экосистемы бассейна р. Ертис в условиях индустриального развития и глобальных

процессов»).

Список литературы

1. Тонкослойные отстойники. URL: <https://www.vo-da.ru/articles/tonkoslojnyj-otstojnik/primenenie-otstaivaniya> (дата обращения 29.03.2023).
2. Киреева А.С., Ковалев Р.А. К вопросу о мембранных технологиях и необходимости их внедрения в существующую систему очистки природных вод // Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики: сб. мат. 15-ой Международ. конф. по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики, 29-30 октября 2019 г., Минск – Тула – Донецк: в 4 т. / ред.: А.Б. Копылов, И.А. Басалай; Белорусский национальный технический ун-т, Тульский государственный ун-т, Донецкий национальный технический ун-т. – Минск: БНТУ, 2019. – Т. 1. – С. 342-345.
3. Чернышкова У.С., Тимофеева В.В. Анализ методов расчета отстойников с тонкослойными модулями // Инженерные системы и городское хозяйство: сб. тр. III Региональной науч.-практ. конф. – магистерские слушания, 15–19 марта 2021 года/ под ред. С.В. Федорова. - Санкт-Петербург: Изд-во Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2021. – С. 82-89.
4. Алексеев М. И., Курганов А. М. Организация отведения поверхностного (дождевого и талого) стока с урбанизированных территорий. М.: Изд-во АСВ, 2000. 352 с.
5. Корнеева Н.Н., Лифанов Д.О. Применение тонкослойного отстаивания в технике очистки воды // «Опыт прошлого – взгляд в будущее»: сб. науч. тр. 8-й Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых и студентов / под общ. ред. Р.А. Ковалева. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2018. – С. 331-334.
6. Повышение эффективности работы тонкослойных отстойных сооружений путем выбора рационального объема камеры флокуляции / Эпштейн С.И., Музыкаина З.С., Никулин С.Е. // Экология и промышленность. – 2016. – № 3 (48). – С. 56-61.
7. Тонкослойное отстаивание в современных технологиях водоподготовки / Р.А. Ковалев, Н.Н. Корнеева, Б.Ф. Сальников, Д.О. Лифанов // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2020. – № 2. – С. 114-124. EDN:EFKOHQ.
8. Лаптев А.Г. Определение эффективности тонкослойных отстойников при турбулентном режиме / А.Г. Лаптев, М. М. Башаров // Вода: химия и экология. – 2011. – № 5 (35). – С. 33-39. EDN: ODPSJF.
9. Особенности распределения воды в тонкослойных модулях / Н.В. Земляная, С.В. Аракчеева, И. Е. Корноухова [и др.] // Вологодские чтения. – 2009. – № 76. – С. 115-119. – EDN: MSTIHP
10. Яблокова М.А. Совершенствование процессов и агрегатов для локальной очистки поверхностных стоков / М.А. Яблокова, Н.С. Зайцев, Р.А. Хасаев // Современные наукоемкие технологии. – 2019. – № 7. – С. 110-113. EDN: UURVPY
11. Kolodziejczyk K., Banas M., Warzecha P. Flow modeling in a laboratory settling tank with optional counter-current or cross-current lamella. Journal of achievements in materials and manufacturing engineering. – 2012. – № 53. – P. 28-36.
12. Diana Robescu, Corina Mandis, Dan Robescu Design lamellar secondary settling tank using numerical modeling. 2010. U.P.B. Sci. Bull. Series D. Vol. 72. P. 211-216
13. The-Anh Nguyen, Nguyet Dao, Bing Liu, Mitsuharu Terashima Computational Fluid Dynamics Study on Attainable Flow Rate in a Lamella Settler by Increasing Inclined Plates. Journal of Water and Environment Technology. 2019. 17(2). P. 76-88.
14. Makeев, Ф. В. Повышение эффективности работы сооружений механической очистки сточных вод / Ф. В. Makeев, М. Н. Шевцов, Г. Г. Медведева // Дальний Восток. – 2019. – № 1-2. – С. 434-437. EDN: ITHNKL.
15. George Tchobanoglous, Franklin L. Burton, H. David Stensel: Wastewater Engineering. Treatment and Reuse. – New York, 2014: McGraw-Hill Higher Education,
16. Пат. № 2567599 С1 Российская Федерация, МПК С02F 1/52, В01D 21/02. Тонкослойный отстойник, выполненный по противоточной схеме: № 2014130663/05: заявл. 24.07.2014: опубл. 10.11.2015 / О.С. Кочетов. – EDN: UHWOBV.
17. Пат. № 2560582 С1 Российская Федерация, МПК В01D 21/02, Е03F 5/14. Тонкослойный отстойник, выполненный по перекрестной схеме: № 2014130664/13: заявл. 24.07.2014: опубл. 20.08.2015 / О.С. Кочетов. – EDN: ZFJVZR.
18. Пат. на полезную модель № 176139 U1 Российская Федерация, МПК В01D 21/02. модуль тонкослойного отстойника: № 2017129745: заявл. 22.08.2017: опубл. 09.01.2018 / М.М. Пукемо.

– EDN: UHSRJQ.

19. СП 31.13330.2012 Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200093820> (дата обращения 29.03.2023).

References

1. Tonkoslojny`e otstojniki. URL: <https://www.vo-da.ru/articles/tonkoslojnyj-otstojnik/primenenie-otstaivaniya> (data obrashheniya 29.03.2023).
2. Kireeva A.S., Kovalev R.A. K voprosu o membranny`kh tekhnologiyakh i neobkhodimosti ikh vnedreniya v sushhestvuyushhuyu sistemu ochistki prirodny`kh vod // *Sotsial`no-e`konomicheskie i e`kologicheskie problemy` gornoj promy`shlennosti, stroitel`stva i e`nergetiki*: sb. mat. 15-oj Mezhdunarodnoj konferenczii po problemam gornoj promy`shlennosti, stroitel`stva i e`nergetiki, 29–30 oktyabrya 2019 g., Minsk – Tula – Doneczk: v 4 t. / red.: A. B. Kopy`lov, I. A. Basalaj; Belorusskij naczional`ny`j tekhnicheskij universitet, Tul`skij gosudarstvenny`j universitet, Doneczkij naczional`ny`j tekhnicheskij universitet. – Minsk: BNTU, 2019. – T. 1. – S. 342-345.
3. Cherny`shkova U.S., Timofeeva V.V. Analiz metodov rascheta otstojnikov s tonkoslojny`mi modulyami// *Inzhenerny`e sistemy` i gorodskoe khozaystvo*: sb. tr. III Regional`noj nauchno-prakticheskoy konferenczii – masterskie slushaniya, 15-19 marta 2021 goda/ pod red. S.V. Fedorova. – Sankt-Peterburg: Izd-vo Sankt-Peterburgskij gosudarstvenny`j arkhitekturno-stroitel`ny`j universitet, 2021. – S. 82-89.
4. Alekseev M.I., Kurganov A.M. (200). Organizaciya otvedeniya poverhnostnogo (dozhdevogo i talogo) stoka s urbanizirovannyh territorij. Izd-vo ASV.
5. Korneeva N.N., Lifanov D.O. Primenenie tonkoslojnogo otstaivaniya v tekhnike ochistki vody` // "Opy`t proshlogo – vzglyad v budushhee": sb. nauch. tr. 8-j Mezhdunar. nauch.-praktich. konf. molody`kh ucheny`kh i studentov / pod obshh. red. R.A. Kovaleva. – Tula: Izd-vo TulGU, 2018. – S. 331-334.
6. Povy`shenie e`ffektivnosti raboty` tonkoslojny`kh otstojny`kh sooruzhenij putem vy`bora raczional`nogo ob`ema kamery` flokulyaczii/ E`pshtejn S.I., Muzy`kina Z.S., Nikulin S.E. // *E`kologiya i promy`shlennost`*. - 2016. -№3 (48). -S. 56-61.
7. Tonkoslojnoe otstaivanie v sovremenny`kh tekhnologiyakh vodopodgotovki / R. A. Kovalev, N. N. Korneeva, B. F. Sa`nikov, D. O. Lifanov // *Izvestiya Tul`skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle*. – 2020. – № 2. – S. 114-124. EDN:EFKXQ.
8. Laptev, A.G. Opredelenie effektivnosti tonkoslojnyh otstojnikov pri turbulentnom rezhime / A.G. Laptev, M.M. Basharov // *Voda: himiya i ekologiya*. – 2011. – № 5 (35). – S. 33-39. – EDN: ODPSJF.
9. Osobennosti raspredeleniya vody` v tonkoslojny`kh modulyakh / N.V. Zemlyanaya, S.V. Arakcheeva, I.E. Kornoukhova [i dr.] // *Vologdinskie chteniya*. – 2009. – № 76. – S. 115-119. – EDN: MSTIHP
10. Yablokova M. A., Zajcev N. S., Hasaev R. A. Sovershenstvovanie processov i agregatov dlya lokalnoj ochistki poverhnostnyh stokov // *Sovremennye naukoemkie tehnologii*. - 2019. - № 7. - S. 110-13. EDN: UURVPY.
11. Kolodziejczyk K., Banas M., Warzecha P. Flow modeling in a laboratory settling tank with optional counter-current or cross-current lamella // *Journal of achievements in materials and manufacturing engineering*. – 2012. – № 53. – P. 28-36.
12. Diana Robescu, Corina Mandis, Dan Robescu. Design lamellar secondary settling tank using numerical modeling // *U.P.B. Sci. Bull. -2010. Series D*. – Vol. 72. – P. 211-216.
13. The-Anh Nguyen, Nguyet Dao, Bing Liu, Mitsuharu Terashima. Computational Fluid Dynamics Study on Attainable Flow Rate in a Lamella Settler by Increasing Inclined Plates // *Journal of Water and Environment Technology*. – 2019. – № 17(2). – P. 76-88.
14. Makeev F.V. Povy`shenie e`ffektivnosti raboty` sooruzhenij mekhanicheskoy ochistki stochny`kh vod / F.V. Makeev, M. N. Shevczov, G. G. Medvedeva // *Dalnij Vostok*. – 2019. – № 1-2. – S. 434-437. EDN: ITHNKL.
15. George Tchobanoglous, Franklin L. Burton, H. David Stensel. (2014). *Wastewater Engineering. Treatment and Reuse*. McGraw-Hill Higher Education.
16. Patent № 2567599 C1 Rossijskaya Federaciya, MPK C02F 1/52, B01D 21/02. Tonkoslojnyj otstojnik, vypolnennyj po protivotochnoj sheme: № 2014130663/05: zayavl. 24.07.2014: opubl. 10.11.2015 / O. S. Kochetov. – EDN: UHWOBV.
17. Patent № 2560582 C1 Rossijskaya Federaciya, MPK B01D 21/02, E03F 5/14. Tonkoslojnyj otstojnik, vypolnennyj po perekrestnoj sheme: № 2014130664/13: zayavl. 24.07.2014: opubl. 20.08.2015 / O. S. Kochetov. – EDN: ZFJVZR.
18. Patent na poleznuyu model № 176139 U1 Rossijskaya Federaciya, MPK B01D 21/02. modul tonkoslojnogo otstojnika : № 2017129745: zayavl. 22.08.2017: opubl. 09.01.2018 / M.M. Pukemo. –

EDN: UHSRJQ.

19. SP 31.13330.2012 Vodosnabzhenie. Naruzhny`e seti i sooruzheniya. URL:
<https://docs.cntd.ru/document/1200093820> (data obrashheniya 29.03.2023).