

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ИЛОВОГО ИНДЕКСА ОТ НАГРУЗКИ НА АКТИВНЫЙ ИЛ НА ГОРОДСКИХ КАНАЛИЗАЦИОННЫХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЯХ

В. В. Маркин, к.т.н., старший преподаватель

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», г. Макеевка

Аннотация. Статья посвящена исследованию зависимости илового индекса от нагрузки на активный ил по БПК_n на канализационных очистных сооружениях ряда населенных пунктов Донбасса, работающих в режиме низких нагрузок. В результате исследования установлено, что в диапазоне нагрузок на ил от 25 до 180 мгБПК_n/(г·сут) иловый индекс имеет слабую корреляцию с нагрузкой и практически не изменяется в зависимости от ее варьирования в пределах указанного интервала. Кроме того, определено, что в указанном диапазоне нагрузок, при условии поддержания основных технологических параметров процесса биологической очистки на требуемых уровнях, иловый индекс находится в основном в пределах от 80 до 130 см³/г, т. е. активный ил сохраняет хорошие седиментационные свойства, что позволяет осуществлять эффективный процесс биологической очистки.

Ключевые слова: сточные воды, биологическая очистка, активный ил, иловый индекс, нагрузка на активный ил по БПК.



Маркин Вячеслав
Владимирович

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Основным способом очистки городских сточных вод, применяемым в большинстве случаев, является биологическая очистка с помощью активного ила в аэротенках или биореакторах другого типа. Одно из важнейших свойств активного ила, которое обуславливает его широкое применение, – способность оседать под действием гравитационной силы. Благодаря данному свойству активный ил можно сравнительно легко отделять от очищенной сточной воды после завершения процесса биологической очистки, после чего вновь возвращать в биореактор. Способность активного ила к оседанию характеризуется несколькими параметрами, главным из которых является иловый индекс.

Иловый индекс – это объем, который занимает 1 грамм сухого вещества активного ила после 30 мин. отстаивания. Считается, что для осуществления эффективного процесса биологической очистки иловый индекс должен находиться в пределах от 60 до 150 см³/г. Увеличение илового индекса более 150 см³/г называют «вспуханием» активного ила. При «вспухании» ил становится более «легким», медленно оседает во вторичных отстойниках и занимает больший объем, что может приводить к его повышенному выносу из отстойников. Вследствие повышенного выноса ила, во-первых, ухудшается качество очистки сточных вод, во-вторых, снижается доза ила в аэротенках, в-третьих, уменьшается возраст ила и, как общий результат, может быть нарушен процесс биологической очистки в целом.

Иловый индекс, являясь одним из показателей качественного состояния активного ила, может изменяться под влиянием различных факторов, среди которых: резкое изменение расхода сточных вод или их состава, присутствие в сточной жидкости токсичных компонентов, недостаток растворенного кислорода в иловой смеси и др. Однако, если указанные факторы не превышают адаптационную способность активного ила, то в теории биологической очистки считается, что значение илового индекса зависит в основном от нагрузки на активный ил по БПК. В связи с указанным, исследование зависимости илового индекса от нагрузки на активный ил является актуальным.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

В отечественной практике проектирования значение илового индекса принималось по рекомендациям СНиП 2.04.03-85 [1] в зависимости только от нагрузки на активный ил по БПК_n. Актуализированная версия данного документа СП 32.13330.2012 [2] не содержит рекомендаций по определению илового индекса,

поэтому остается пользоваться рекомендациями СНиП 2.04.03-85. Зависимость илового индекса J_i , $\text{см}^3/\text{г}$, от нагрузки на ил q_i , $\text{мгБПК}_n/(\text{г}\cdot\text{сут})$ для городских сточных вод в соответствии с данными СНиП 2.04.03-85 приведена на рис. 1.

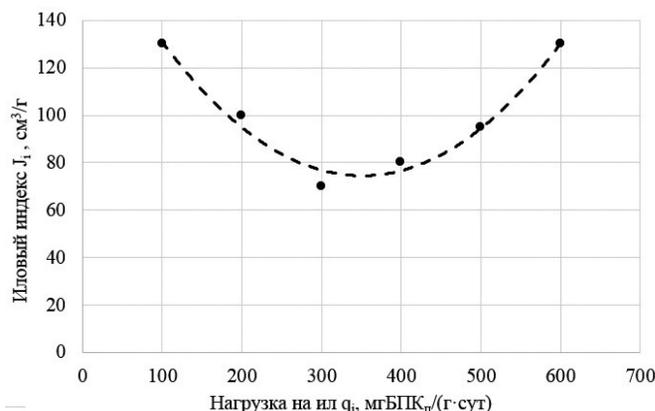


Рис. 1. Зависимость илового индекса от нагрузки на активный ил по данным [1]

Точки на рис. 1 хорошо аппроксимируются параболической зависимостью с «ветвями», направленными вверх, а наиболее оптимальный диапазон илового индекса находится в пределах нагрузок от 150 до 550 $\text{мгБПК}_n/(\text{г}\cdot\text{сут})$. Кроме того, судя по форме зависимости, при уменьшении нагрузки ниже 100 $\text{мгБПК}_n/(\text{г}\cdot\text{сут})$ и при увеличении свыше 600 $\text{мгБПК}_n/(\text{г}\cdot\text{сут})$ иловый индекс будет значительно повышаться и превышать допустимые пределы.

Необходимо отметить, что нагрузка на активный ил по БПК_n согласно [1] определяется по формуле

$$q_i = \frac{24(L_{en} - L_{ex})}{a_i(1-s)t_{at}}, \quad (1)$$

где L_{en} – БПК_n сточной воды, поступающей на биологическую очистку, $\text{мгO}_2/\text{дм}^3$;

L_{ex} – БПК_n биологически очищенной сточной воды, $\text{мгO}_2/\text{дм}^3$;

a_i – доза ила, $\text{г}/\text{дм}^3$;

s – зольность ила;

t_{at} – время аэрации, ч.

Формула (1) несколько отличается от общепринятой тем, что в ней учитывается количество БПК_n, снимаемое 1 граммом беззольного вещества активного ила за сутки. Тогда как по определению, нагрузка на активный ил – это количество загрязнений, приходящееся на 1 грамм беззольного вещества ила в сутки.

В источнике [3] приводится зависимость илового индекса от нагрузки на активный ил, которая очень похожа на зависимость, данную в СНиП 2.04.03-85 (рис. 2). Там же указывается, что при недогрузке или перегрузке активного ила происходит повышение илового индекса выше технологических норм. В случае недогрузки «вспухание» активного ила объясняется тем, что недостаток питательных веществ приводит к нарушению флокулообразующей способности бактерий, из-за чего хлопья ила измельчаются и становятся более легкими [3].

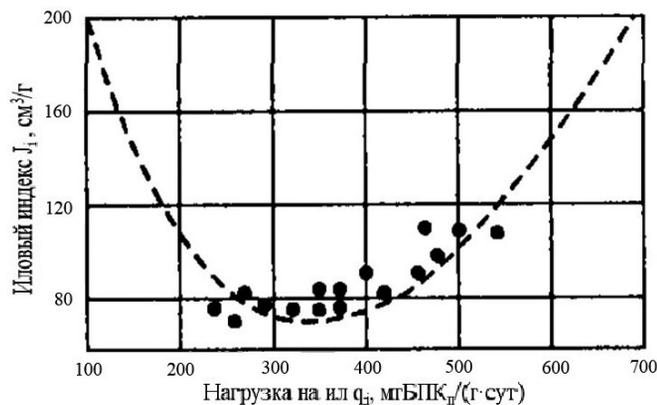


Рис. 2. Зависимость илового индекса от нагрузки на активный ил по данным [3]

В рассмотренных выше источниках, хотя и предполагается повышение илового индекса выше технологических требований при нагрузках ниже 100 $\text{мгБПК}_n/(\text{г}\cdot\text{сут})$, однако, не указывается, какие именно значения он будет принимать. Между тем, именно интервал нагрузок от 100 $\text{мгБПК}_n/(\text{г}\cdot\text{сут})$ и ниже является весьма актуальным в настоящее время для практического использования, и связано это с необходимостью обеспечения высокой степени очистки сточных вод от соединений азота.

Например, согласно директиве ЕС № 91/271 от 21.05.1991 г. при сбросе сточных вод в водоемы, подверженные эвтрофикации, для очистных сооружений с эквивалентной нагрузкой более 100 тыс. условных жителей содержание общего азота должно быть не более 10 $\text{мг}/\text{дм}^3$ [4]. По действующим в Российской Федерации нормам при сбросе сточных вод в водоемы культурно-бытового назначения содержание азота аммонийного в расчетном створе не должно превышать 2 $\text{мг}/\text{дм}^3$, нитратов – 10 $\text{мг}/\text{дм}^3$ [5]. В водоемах рыбохозяйственного водопользования предельно допустимые концентрации аммония солевого – 0,39 $\text{мг}/\text{дм}^3$, нитритов – 0,02 $\text{мг}/\text{дм}^3$, нитратов – 9,1 $\text{мг}/\text{дм}^3$ [6].

В соответствии с приведенными нормативными требованиями канализационные очистные сооружения (КОС) должны обеспечивать достаточно глубокую биологическую очистку сточных вод от соединений азота. Биологическая очистка стоков от соединений азота состоит из двух этапов: нитрификации и денитрификации.

Одним из главных условий протекания процесса нитрификации является низкая нагрузка на активный ил. Так, по данным [7] процесс нитрификации происходит при нагрузках на ил менее 150 $\text{мгБПК}_n/(\text{г}\cdot\text{сут})$, а при нагрузках менее 50 $\text{мгБПК}_n/(\text{г}\cdot\text{сут})$ – еще и одновременная частичная стабилизация активного ила. В источнике [3] указано, что нитрификация осуществляется при нагрузках на активный ил 65-150 $\text{мгБПК}_n/(\text{г}\cdot\text{сут})$ и ниже. Опыт эксплуатации станций аэрации г. Москвы и г. Санкт-Петербурга показывает, что для стабильной глубокой нитрификации желательно поддерживать нагрузку на ил не выше 100 $\text{мгБПК}_n/(\text{г}\cdot\text{сут})$ [8].

Для возможности выполнения технологических расчетов процесса биологической очистки сточных вод с нитрификацией необходимо исследовать, какими

будут значения илового индекса в режиме низких нагрузок на активный ил.

Целью работы является исследование зависимости илового индекса от нагрузки на активный ил на городских канализационных очистных сооружениях в режиме низких нагрузок.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Для реализации поставленной цели был выполнен анализ работы ряда очистных сооружений населенных

пунктов Донбасса: г. Макеевки, г. Тореза, г. Горловки, г. Енакиево, г. Дружковки, г. Дебальцево, г. Шахтерска, г. Селидово, г. Горняка и п. Кондратиевки, за период с февраля 2020 г. по август 2021 г.

Анализ проведен по данным журналов лабораторно-производственного контроля работы очистных сооружений.

В результате была составлена сводная таблица, в которой приведены усредненные за каждый месяц значения нагрузки на активный ил и илового индекса (таблица 1).

Таблица 1.

Результаты изучения изменения илового индекса в зависимости от нагрузки на активный ил на КОС ряда населенных пунктов Донбасса

Наименование КОС	февраль 2020 г.		март 2020 г.		апрель 2020 г.		май 2020 г.		июнь 2020 г.	
	$q_{i, \text{ мгБПКп/ (г}_{\text{б.в.}} \cdot \text{сут)}$	$J_{i, \text{ см}^3/\text{г}}$	$q_{i, \text{ мгБПКп/ (г}_{\text{б.в.}} \cdot \text{сут)}$	$J_{i, \text{ см}^3/\text{г}}$	$q_{i, \text{ мгБПКп/ (г}_{\text{б.в.}} \cdot \text{сут)}$	$J_{i, \text{ см}^3/\text{г}}$	$q_{i, \text{ мгБПКп/ (г}_{\text{б.в.}} \cdot \text{сут)}$	$J_{i, \text{ см}^3/\text{г}}$	$q_{i, \text{ мгБПКп/ (г}_{\text{б.в.}} \cdot \text{сут)}$	$J_{i, \text{ см}^3/\text{г}}$
КОС г. Амвросиевки	34	77	-	-	-	-	-	-	-	-
КОС г. Горловки	128	108	164	115	141	116	114	115	148	117
КОС п. Кондратиевки	140	112	120	119	132	115	106	116	82	110
КОС г. Докучаевска	-	-	56	134	64	103	69	117	66	117
КОС г. Дружковки	45	107	44	127	41	144	46	138	44	107
КОС г. Енакиево	91	136	76	143	46	140	56	133	50	125
КОС г. Дебальцево	46	107	67	107	67	109	38	106	42	106
КОС г. Макеевки	106	110	80	107	80	115	70	111	59	97
КОС г. Селидово	56	121	44	127	44	126	43	129	35	125
КОС п. Горняка	37	108	25	122	26	129	27	146	28	122
КОС г. Тореза	44	76	36	80	44	85	42	88	37	96
КОС г. Шахтерска	111	123	80	123	97	130	166	133	149	136

Наименование КОС	июль 2020 г.		август 2020 г.		сентябрь 2020г.		октябрь 2020 г.		ноябрь 2020 г.	
	$q_{i, \text{ мгБПКп/ (г}_{\text{б.в.}} \cdot \text{сут)}$	$J_{i, \text{ см}^3/\text{г}}$	$q_{i, \text{ мгБПКп/ (г}_{\text{б.в.}} \cdot \text{сут)}$	$J_{i, \text{ см}^3/\text{г}}$	$q_{i, \text{ мгБПКп/ (г}_{\text{б.в.}} \cdot \text{сут)}$	$J_{i, \text{ см}^3/\text{г}}$	$q_{i, \text{ мгБПКп/ (г}_{\text{б.в.}} \cdot \text{сут)}$	$J_{i, \text{ см}^3/\text{г}}$	$q_{i, \text{ мгБПКп/ (г}_{\text{б.в.}} \cdot \text{сут)}$	$J_{i, \text{ см}^3/\text{г}}$
КОС г. Амвросиевки	-	-	-	-	-	-	32	91	31	93
КОС г. Горловки	119	117	154	114	165	114	158	117	168	115
КОС п. Кондратиевки	99	118	100	119	89	114	101	109	170	113
КОС г. Докучаевска	73	124	80	123	97	123	83	119	93	122
КОС г. Дружковки	42	107	43	122	39	108	46	106	45	104
КОС г. Енакиево	76	125	88	116	74	109	79	119	74	110
КОС г. Дебальцево	66	110	45	109	54	109	61	109	78	110
КОС г. Макеевки	85	101	85	106	60	89	59	80	81	83
КОС г. Селидово	66	120	65	112	49	112	105	116	54	126
КОС п. Горняка	37	108	29	111	27	107	54	118	67	129
КОС г. Тореза	36	91	39	100	38	88	40	92	43	84
КОС г. Шахтерска	114	139	116	125	97	120	85	126	100	128

Наименование КОС	декабрь 2020 г.		январь 2021 г.		февраль 2021г.		март 2021 г.		апрель 2021 г.	
	$q_{i, \text{ мгБПКп/ (г}_{\text{б.в.}} \cdot \text{сут)}$	$J_{i, \text{ см}^3/\text{г}}$	$q_{i, \text{ мгБПКп/ (г}_{\text{б.в.}} \cdot \text{сут)}$	$J_{i, \text{ см}^3/\text{г}}$	$q_{i, \text{ мгБПКп/ (г}_{\text{б.в.}} \cdot \text{сут)}$	$J_{i, \text{ см}^3/\text{г}}$	$q_{i, \text{ мгБПКп/ (г}_{\text{б.в.}} \cdot \text{сут)}$	$J_{i, \text{ см}^3/\text{г}}$	$q_{i, \text{ мгБПКп/ (г}_{\text{б.в.}} \cdot \text{сут)}$	$J_{i, \text{ см}^3/\text{г}}$
КОС г. Амвросиевки	33	92	39	83	34	86	30	82	33	90
КОС г. Горловки	121	117	96	133	107	117	62	118	73	113
КОС п. Кондратиевки	175	111	98	119	88	120	59	109	66	114
КОС г. Докучаевска	116	126	168	78	140	74	134	75	117	78
КОС г. Дружковки	45	108	46	107	56	104	46	110	46	102
КОС г. Енакиево	68	109	74	110	55	122	29	117	48	119
КОС г. Дебальцево	75	111	80	110	58	108	73	109	59	109
КОС г. Макеевки	-	-	45	81	64	73	41	69	-	-
КОС г. Селидово	67	124	33	132	69	113	60	122	64	118
КОС п. Горняка	53	135	35	113	43	119	58	114	43	127
КОС г. Тореза	40	81	43	76	44	72	44	72	42	80
КОС г. Шахтерска	100	126	98	125	105	128	100	128	116	126

Наименование КОС	май 2021 г.		июнь 2021 г.		июль 2021 г.		август 2021 г.	
	q _и , мгБПКп/ (г _{б.в.} ·сут)	J _и , см ³ /г	q _и , мгБПКп/ (г _{б.в.} ·сут)	J _и , см ³ /г	q _и , мгБПКп/ (г _{б.в.} ·сут)	J _и , см ³ /г	q _и , мгБПКп/ (г _{б.в.} ·сут)	J _и , см ³ /г
КОС г. Амвросиевки	31	92	32	92	29	91	33	92
КОС г. Горловки	86	114	194	113	134	108	123	106
КОС п. Кондратиевки	59	110	65	106	61	107	89	103
КОС г. Докучаевска	114	78	91	84	79	81	79	80
КОС г. Дружковки	39	103	40	102	44	97	41	125
КОС г. Енакиево	41	117	37	113	65	127	64	133
КОС г. Дебальцево	40	107	52	108	48	108	61	110
КОС г. Макеевки	59	69	-	-	24	65	44	74
КОС г. Селидово	108	125	89	120	85	111	111	112
КОС п. Горняка	59	120	53	110	37	91	89	91
КОС г. Тореза	41	84	37	92	42	76	43	76
КОС г. Шахтерска	103	124	157	125	110	106	111	125

Указанные станции биологической очистки были выбраны для исследования, поскольку основные технологические параметры их работы стабильно поддерживаются на требуемых уровнях:

- концентрация растворенного кислорода в иловой смеси на выходе из аэротенков составляет не менее 2 мгО₂/дм³;
- доза ила на выходе из аэротенков – от 1 до 3 г/дм³;
- процесс илоразделения во вторичных отстойниках, сбор и перекачивание циркулирующего активного ила осуществляются эффективно и с достаточной степенью рециркуляции.

В связи с тем, что фактическое количество поступающих на КОС сточных вод составляет 20...30 % от их проектной производительности, изучаемые сооружения биологической очистки работают в режиме низких нагрузок (как это видно из таблицы 1).

Нагрузки на активный ил, приведенные в таблице 1, рассчитывались по формуле (1). Поскольку планграфиком лабораторно-производственного контроля не предусмотрено определение БПК_п в сточных водах перед и после биологической очистки, соответствующие значения были получены умножением значения БПК₅ на коэффициент 1,33.

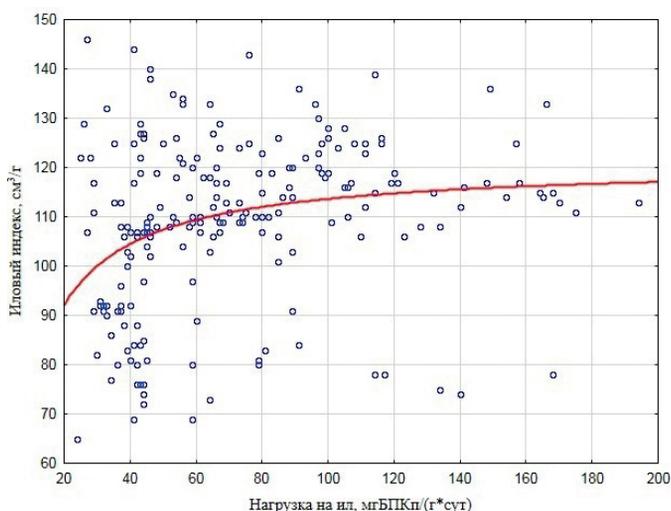


Рис. 3. График зависимости илового индекса от нагрузки на ил

Для определения эмпирической зависимости илового индекса от нагрузки на активный ил данные таблицы 1 были представлены в виде диаграммы рассеяния (рис. 3) и выполнен их регрессионный анализ. Регрессионный анализ производился с помощью программного пакета STATISTICA 10.

В результате регрессионного анализа было подобрано уравнение регрессии:

$$J_i = \frac{120,713q_i}{6,226 + q_i} \quad (2)$$

где J_и – иловый индекс, см³/г;
q_и – нагрузка на активный ил, мгБПК_п/(г·сут).

Результаты проверки статистической значимости оценок коэффициентов уравнения регрессии приведены в таблице 2. Оба коэффициента статистически значимые, т. к. р-уровень для обоих коэффициентов меньше принятого уровня значимости α = 0,05.

Таблица 2.

Оценки коэффициентов уравнения регрессии и проверка их статистической значимости

Коэффициенты	Оценки коэффициентов	Стандартные ошибки коэф.	Значения t-критерия	p-уровень
a	120,713	3,195	37,78	0,0000
b	6,226	1,633	3,81	0,0002

Результаты проверки адекватности полученного уравнения регрессии с помощью критерия Фишера указаны в таблице 3. Уровень вероятности для F-критерия значительно меньше уровня значимости α = 0,05, соответственно по F-критерию уравнение регрессии можно признать адекватным.

Для оценки адекватности уравнения регрессии также важно проанализировать регрессионные остатки, которые должны иметь приближенно нормальное распределение.

Гистограмма дифференциального распределения регрессионных остатков и диаграмма соответствия фактических и ожидаемых нормальных значений остатков приведены на рис. 4.

По форме гистограммы можно заключить, что регрессионные остатки имеют приближенно нормальное

Таблица 3.

Результаты проверки адекватности уравнения регрессии с помощью критерия Фишера

Эффекты	Суммы квадратов отклонений	Степени свободы	Дисперсии	Значение F-критерия	p-уровень
Регрессии	2586245	2	1293123	4741,5	0,000
Остатков	58636	215	273		
Общие	2644881	217			

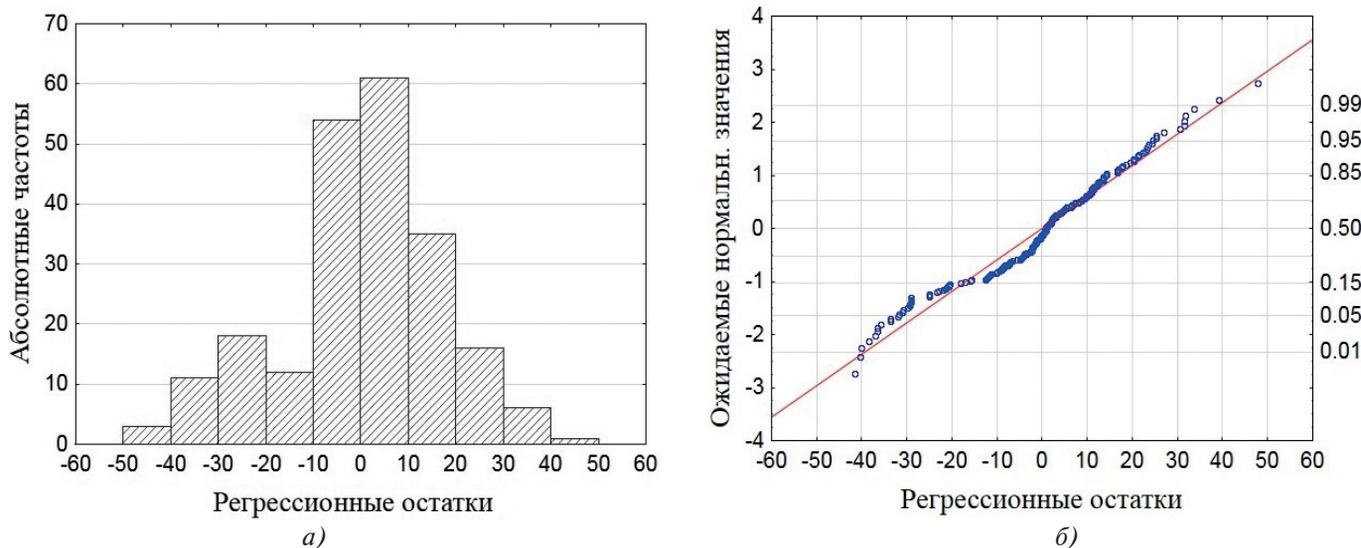


Рис. 4. Гистограмма распределения регрессионных остатков (а) и диаграмма соответствия фактических и ожидаемых нормальных значений остатков (б)

распределение. На диаграмме соответствия фактические значения остатков незначительно отклоняются от теоретической линии нормальных ожидаемых значений.

Таким образом, по результатам всех статистических тестов уравнение регрессии адекватно.

Однако, коэффициент корреляции R данного уравнения составляет 0,28. Соответственно, по шкале Чеддока тесноту связи между нагрузкой на ил и иловым индексом в исследованном интервале можно отнести к слабой или находящейся на границе между слабой и умеренной. Коэффициент детерминации R² равен всего 0,08, т. е. уравнение регрессии объясняет всего 8 % изменчивости илового индекса за счет изменения нагрузки на ил. Это означает, что оставшаяся часть изменчивости объясняется какими-то другими факторами.

Теоретически было предположено, что на иловый индекс может влиять температура сточных вод, поскольку разница между температурой стоков зимой и летом на исследованных КОС значительно отличается. Летом температура сточных вод колеблется в диапазоне от 20 до 23 °С, а зимой – от 5 до 8 °С.

Для проверки значимости влияния температуры сточной воды на иловый индекс из таблицы 1 были сформированы две выборки: первая выборка – значения иловых индексов на КОС в летний период с 06.2021 г. по 08.2021 г., вторая выборка – значения иловых индексов в зимнее время с 12.2020 г. по 02.2021 г. (таблица 4).

Среднее значение илового индекса в первой выборке – 101,7 см³/г, во второй – 106,9 см³/г. Разница довольно незначительная – 5,2 см³/г. Проверка гипотезы о статистической незначимости выявленного

различия между выборочными средними была выполнена с помощью парного t-теста Стьюдента, а также с помощью дисперсионного анализа. Вычисленное значение критерия Стьюдента при сравнении двух выборочных средних составило t_{факт} = 1,204. Вероятность получить такое значение критерия Стьюдента при верности нулевой гипотезы равна 11,6 %, что больше принятого 5 %-го уровня значимости. Соответственно, оснований отклонять нулевую гипотезу нет и разницу между выборочными средними можно признать статистически незначимой.

В результате выполнения дисперсионного анализа внутригрупповая дисперсия двух выборок D_{в.г.} составила 329,6, а межгрупповая D_{м.г.} – 478,4. Критерий Фишера равен F_{факт} = D_{м.г.}/D_{в.г.} = 478,4/329,6 = 1,451. Критическое значение критерия Фишера при уровне значимости α = 0,05 и числе степеней свободы df₁ = 1 и df₂ = 68 составляет 3,983. Фактическое значение F_{факт} = 1,451 меньше критического F_{крит} = 3,983. p-уровень равен 0,233, что значительно больше уровня значимости α = 0,05. Оснований отклонять нулевую гипотезу нет и различия между выборками можно признать статистически незначимыми.

В результате проведенных статистических тестов можно сделать вывод, что существенное изменение температуры сточных вод в зимнее и летнее время года не оказывает значимого влияния на величину илового индекса.

Для визуального представления тенденции изменения илового индекса во времени были построены графики его изменения за исследуемый период по месяцам для КОС городов Дружковка, Горняк, Торез и Шахтерск (рис. 5).

В течение анализируемого интервала времени иловый индекс на КОС г. Дружковки, г. Горняка и г. Шахтер-

Таблица 4.

Выборки значений илового индекса на КОС в летнее и зимнее время года

Выборка №1 – Значения илового индекса на КОС за летний период: 06.2021 г. – 08.2021 г.			Выборка №2 – Значения илового индекса на КОС за зимний период: 12.2020 г. – 02.2021 г.		
92	91	92	86	83	92
106	108	113	117	133	117
103	107	106	120	119	111
80	81	84	74	78	126
125	97	102	104	107	108
133	127	113	122	110	109
110	108	108	108	110	111
74	65	120	73	81	124
112	111	110	113	132	135
91	91	92	119	113	81
76	76	125	72	76	126
125	106		128	125	

ска изменялся в диапазоне от 90 до 150 см³/г, но большую часть времени не выходил за пределы от 100 до 130 см³/г, т. е. соответствовал технологическим требованиям. На КОС г. Тореза иловый индекс пребывал на более низком уровне, изменяясь от 70 до 100 см³/г. Более низкие значения илового индекса на КОС г. Тореза по сравнению с другими КОС не связаны с влиянием нагрузки на ил, поскольку нагрузки на ил, например, на КОС г. Тореза и КОС г. Дружковки сопоставимы (таблица 1).

Предположительно одним из факторов, которые влияют на значение илового индекса, может быть состав исходной сточной воды и, в частности, характер взвесей. Взвешенные вещества играют существенную роль в процессе хлопьеобразования, поскольку часть из них включается в состав биофлокул в виде инертных частиц. Зольность активного ила составляет обычно от 25 до 35 %. При этом собственная зольность биомассы (минеральная часть клеточного вещества) равняется всего 5...7 %, а оставшаяся минеральная часть – это инертные взвешенные частицы. Чем большей плотностью будут обладать взвешенные вещества, тем более тяжелым будет и активный ил (при прочих равных условиях).

Можно заключить, что в проведенном исследовании не было выявлено сильной зависимости илового индекса от нагрузки на активный ил или от каких-либо других факторов в условиях низких нагрузок. Но с практической стороны более важно, что в исследованном интервале низких нагрузок иловый индекс не увеличивается выше требуемых технологических значений. Также важно отметить, что в выполненном исследовании теория о том, что при низких нагрузках на ил (менее 100 мгБПК_п/(г·сут)) будет происходить измельчение хлопьев ила и его «вспухание», не подтвердилась.

Иловый индекс J_i, см³/г

Нагрузка на ил q_i, мгБПК_п/(г·сут)

.....■..... КОС г. Дружковки —●— КОС г. Горняк ◆..... КОС г. Торез —▲— КОС г. Шахтерск

Рис. 5. Изменение илового индекса на КОС гг. Дружковка, Горняк, Торез, Шахтерск в период с 02.2020 г. по 08.2021 г.

ВЫВОДЫ

По результатам исследований, проведенных на городских канализационных очистных сооружениях, можно сделать следующие выводы:

1. Иловый индекс в диапазоне нагрузок на активный ил от 25 до 180 мгБПК_п/(г·сут) слабо коррелирует с нагрузкой и практически не изменяется в зависимости от ее варьирования на данном интервале. Существенная разница между температурой сточной воды в летнее и зимнее время года (20...23 °С – летом и 5...8 °С – зимой) не оказывает значимого влияния на изменение илового индекса.

2. В исследованном низком диапазоне нагрузок, при поддержании основных технологических параметров процесса биологической очистки на требуемых уровнях, иловый индекс изменяется в основном в пределах от 80 до 130 см³/г, что является хорошим показателем седиментационных свойств ила и позволяет осуществлять эффективную биологическую очистку сточных вод.

3. При проектировании сооружений биологической очистки с низкими нагрузками на активный ил рекомендуется принимать иловый индекс равным верхней границе полученного интервала – 130 см³/г, что позволит выполнять технологические расчеты вторичных отстойников или илоотделителей с достаточной степенью надежности.

Список литературы

1. СНиП 2.04.03-85. Строительные нормы и правила. Канализация. Наружные сети и сооружения [Текст]. – Введ. 1985-05-01. – М.: ФГУП ЦПП, 2006. – 87 с.
2. СП 32.13330.2018. Свод правил. Канализация. Наружные сети и сооружения. СНиП 2.04.03-85 [Текст]. – Взамен СП 32.13330.2012. Актуализированная редакция СНиП 2.04.03-85. Канализация. Наружные сети и сооружения. ; введ. 2019-06-26. – М.: ФГУП «Стандартинформ», 2019. – 76 с.
3. Воронов, Ю. В. Водоотведение и очистка сточных вод : учебник для вузов [Текст] / Ю. В. Воронов, С. В. Яковлев. – М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2006. – 704 с.
4. Директива № 91/271/ЕЭС Совета Европейских сообществ «Об очистке городских сточных вод» [Текст] / принята в г. Брюсселе 21.05.1991 ; с изм. и доп. от 17.12.2013. – 13 с.
5. СанПиН № 4630-88. Санитарные правила и нормы охраны поверхностных вод от загрязнения [Текст] / утв. гл. гос. сан врачом СССР 4 июля 1988 г. ; вводятся вновь с 01.01.1989. – Москва, 1989. – 59 с.
6. Перечень рыбохозяйственных нормативов, предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно безопасных уровней воздействия (ОБУВ) вредных веществ для воды водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение [Текст] / М.: Изд-во ВНИРО, 1999. – 304 с.
7. Karl Imhof. Kanalizacja miast i oczyszczanie ciekuw : Poradnik. Projprzem-EKO [Text] / Karl R. Imhof, Klaus R. Imhof. – Bydgoszcz, 1996. – 450 p.
8. Мишуков, Б. Г. Удаление азота и фосфора на очистных сооружениях городской канализации ; приложение к журналу «Вода и экология. Проблемы и решения» [Текст] / Б. Г. Мишуков, Е. А. Соловьева. – СПб.: ФГБОУВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет», 2004. – 72 с.