

## ОБЕЗВОДНЯВАНЕ НА СТАБИЛИЗИРАНИ И УПЛЪТНЕНИ УТАЙКИ ОТ СПСОВ КУБРАТОВО

**Юлиана Иванова<sup>1</sup>, Ирена Григорова<sup>2</sup>, Иван Нишков<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Софийска пречиствателна станция за отпадъчни води Кубратово, София 1278, [yivanova@sofiyskavoda.bg](mailto:yivanova@sofiyskavoda.bg)

<sup>2</sup> Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", София 1700, [iniskov@gmail.com](mailto:iniskov@gmail.com)

**РЕЗЮМЕ.** Софийската пречиствателна станция за отпадъчни води в Кубратово е първата в България голяма градска пречиствателна станция за отпадъчни води и една от най-големите на Балканския полуостров. СПСОВ Кубратово е предназначена да пречиства смесените отпадъчни води на гр. София до степен, позволяваща заустването им в приемника – р.Искър. Утайковият кек, на изход СПСОВ Кубратово е с влажност от 75 – 78 %, който за потребителите в селското стопанство е твърде висок. Това налага търсене на нови идеи и проектиране на технически решения за постигане на желаното обезводняване. Извършен е сравнителен анализ и оценка на две обезводнителни технологии: обезводняване на твърдия отпадък, получен при пречистването на отпадъчните води с лентова филтърпреса и с центрофуга. Доказана е целесъобразността от центрофугирането за обезводняване на утайки.

### DEWATERING OF STABILIZED SEWAGE SLUDGE IN KUBRATOVO WASTE WATER TREATMENT PLANT

*Yliana Ivanova<sup>1</sup>, Irena Grigorova<sup>2</sup>, Ivan Nishkov<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Kubratovo waste water treatment plant, Sofia 1278, [yivanova@sofiyskavoda.bg](mailto:yivanova@sofiyskavoda.bg)

<sup>2</sup> University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, [iniskov@gmail.com](mailto:iniskov@gmail.com)

**ABSTRACT.** Sofia wastewater treatment plant (SWWTP) Kubratovo is Bulgaria's first large urban treatment plant and one of the biggest on the Balkan Peninsula. Kubratovo SWWTP is designed to purify the mixed industrial and sewage wastewater to stage an allowing discharge into the Iskar River. Sludge cake output Kubratovo WWTP has 75-78% moisture that of agriculture consumers is very high. This requires making necessitate looking for new ideas and technical solutions designing to achieve the dewatering. A comparative analysis and evaluation of two dewatering technologies is made: dewatering of produced of wastewater treatment solid waste using filter press and centrifuge. Feasibility has been demonstrated by centrifugation for sludge dewatering.

### Въведение

Водата е жизнено важна суровина за промишлеността като среда в която протичат редица процеси, разтворител и охлаждащ флуид, както и за битови нужди. Водните запаси в глобален аспект не са неизчерпаеми и ако се вземе под внимание фактът, че само 3% от общите водни ресурси съществуват като прясна вода, концепцията за глобално ограничениите и потенциално изчерпаеми запаси става все по-реална (Хокинг, 2002). Водните ресурси в България се формират от оттока на вътрешните реки, подземните води и част от водите на р. Дунав. Тяхното опазване, рационално използване и управление е от жизнено важно значение за устойчивото развитие на страната. Ползването на достъпните води в някои случаи се ограничава от влошените им качества в резултат от замърсяването им с битово-фекални и промишлени отпадъчни води, както и от дифузни източници. Опазването на водните ресурси е основен проблем и неговото успешно решаване е свързано с намаляване количеството и замърсеността на отпадъчните води. Изграждането на пречиствателни станции за отпадъчни води (ПСОВ) е едно от главните направления срещу замърсяването на околната среда. При пречистване на отпадъчни води в пречиствателните станции се отделя

отпадък – утайка, чието рационално управление представлява ключов фактор за ефективната работа на станцията. Третирането и изхвърлянето на утайки е скъп и екологично чувствителен проблем. Посредством различни технологии утайките обикновено се превръщат в продукти (биогаз и кек), годни за по-нататъшна експлоатация: за генериране на електроенергия и топлина - от биогаза; за рекултивация на изоставени терени, като приоритет за обогатяване на почвата за различни растителни култури в селското стопанство - от кека.

"Софийска вода" е акционерно дружество, създадено на 6 октомври 2000 г. по силата на договор за концесия на водоснабдителната и канализационната система на територията на Столична община. Предоставя услугите водоснабдяване, отвеждане и пречистване на отпадъчните води на територията на столичната община с население 1,4 милиона души. На 4 септември 1984 г. е въведена в редовна експлоатация Софийската пречиствателна станция за отпадъчни води (СПСОВ) в Кубратово. СПСОВ Кубратово е предназначена да пречиства смесените отпадъчни води на града (битови, промишлени и дъждовни) до степен, позволяваща заустването им в приемника – р. Искър. Градската канализация е смесен тип, поради което в станцията постъпват и повърхностни

води от валежи и снеготопене. В резултат изпълнението на Директива 91/271/ЕС, относно пречистване на градски отпадъчни води, нарастват количествата произведена утайка, които представляват голям замърсяващ товар. Обезводняването на утайките е една съществена част от ефикасната схема за управление на утайките и цели да намали обема им. Подобрявайки резултатите при обезводняването се постига кек, който е по-евтин за депониране и също така може да се използва за оптимизиране при по-нататъшна обработка на утайките, като компостиране, термично изсушаване или изгаряне. Двете доминиращи технологии при обезводняване на утайки са прилагането на лентови филтърпреси и центрофуги. И двете са утвърдени технологии, които непрекъснато биват усъвършенствани. Изборът между двете, зависи от много параметри, като например: характеристика на утайките, ефективност на обезводняване, оперативни и капитални разходи, потенциални миризми, лесни ли са за поддръжка и др. Утайковият кек на изход СПСОВ Кубратово е с влажност от 75 – 78%, която за потребителите в селското стопанство е твърде висока. Това налага търсене на нови идеи и проектиране на технически решения за постигане на желаното обезводняване.

Целта на настоящата разработка е да се извърши сравнителен анализ и оценка на двете обезводнителни технологии, а именно: обезводняване на твърдия отпадък, получен при пречистването на отпадъчните води с филтърпреса и с центрофуга, при паралелни операции, за да се определи коя технология е по-подходяща за третиране на анаеробно стабилизирани утайки за постигане на продукт необходим за определени нужди на крайния потребител в условията на СПСОВ Кубратово .

## Принцип на работа на СПСОВ Кубратово

Пречистването на отпадъчните води в СПСОВ Кубратово се извършва съгласно класическа, двустъпална схема, включваща механично и биологично пречистване, а също и третиране на утайките и оползотворяване на биогаза. Замърсените води престояват около 13 часа на територията на станцията, след което напълно пречистени се вливат в р. Искър (фиг. 1). Механичното пречистване се осъществява от фини решетки, хоризонтални аерирани пясъкозадържатели, първични радиални утаители. Биологичното стъпало включва биобасейни и вторични радиални утаители. Обеззаразяването на пречистените отпадъчни води се осъществява в контактни резервоари. Третирането на утайките се извършва от кало- и утайкоуплътнители, барабанни състители, метантанкове и филтърпреси (Цачев, 1991). Целта е отпадъчния продукт, формиран при пречистването на отпадъчните води, да се превърне в краен, стабилен и безопасен за околната среда. Това се постига, чрез предварително уплътняване и механично съгъстяване, последващо анаеробно

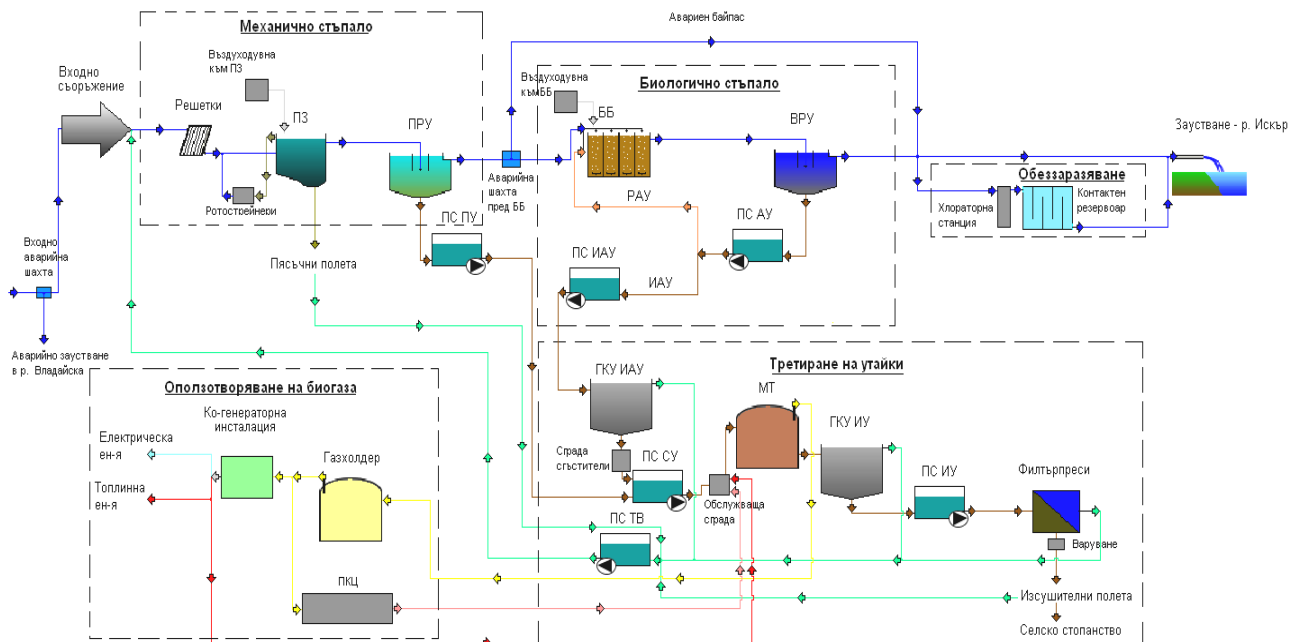
стабилизиране с разграждане на органичните вещества и елиминирани излъчването на миризми, последващо механично обезводняване с получаване на компактен продукт, наречен утайков кек и крайното му оползотворяване в земеделието за обогатяване на почвата и за възстановяване на рекултивирани терени. В СПСОВ Кубратово е изградена и ко-генераторна инсталация (Combined Heat and Power – CHP) за производство на електрическа и топлинна енергия от биогаз получен в процеса на третиране на утайките.

СПСОВ Кубратово е една добре функционираща пречиствателна станция, която разполага с линия за пречистване на отпадъчните води, линия за третиране на утайки и линия за оползотворяване на биогаза. В СПСОВ Кубратово за обезводняване постъпват анаеробно изгнили утайки. Влажността на утайките, подлежащи на обезводняване варира от 93 до 98%, а съдържанието на органични вещества е в границите от 35 до 75%. Параметърът влажност на кека е решаващ за формиране на транспортните разходи на обезводнените утайки към местата за оползотворяване. Утайките се подлагат на предварителна обработка, чрез реагентно кондициониране с катионен флокулант. При реагентното кондициониране се изменя структурата на утайки и се намаляват силите на свързване между твърдата фаза и водата. В резултат на това утайките се уплътняват и са пригодни за ефективно механично обезводняване с лентови филтърпреси. Подадените към филтърпресите кондиционирани утайки се обезводняват чрез пресоване, като полученият в резултат на това кек се отправя към варов смесител, след което на временно депо за обезводнени утайки. Филтратът, който се отделя при механичното обезводняване се характеризира с висока степен на замърсеност. При обезводняване на анаеробно изгнилите утайки биологичната необходимост от кислород на филтрат е около 3 000 mg/l. Филтратът се препомпва към входа на СПСОВ Кубратово. Количеството му е около 1% от пречистваните отпадъчни води, но предизвиква до 10% повишаване на замърсяванията и допълнително натоварва биологичното стъпало на станцията. В резултат от третирането на утайките се постигат следните ефекти: всички първични и вторични утайки се уплътняват и изгниват съгласно указанията на ЕС; осигуряване се стабилизиране на утайките и оползотворяването им в земеделието, тъй като не съдържат патогенни микроорганизми; не се допуска замърсяване на околната среда, чрез депониране на утайки; намаляват разходите за обезводняване и транспортиране на утайките. Като недостатък може да се посочи високата влажност на кека от около 75%, което за основните потребители – в земеделието, не е най-подходящо при обработка на почвата за някои растителни култури. За тази цел, за да бъде целесъобразно използването на обезводнената утайка е необходимо да се обезводни под 70%, да се постигне продукт, лесен за транспортиране и обработка върху отделните земеделски масиви.

- ◆ Аварийно подаване на топла вода
- ◆ Линия за пречистване на отпадъчната вода
- ◆ Рециркулираща активна утайка
- ◆ Линия за третиране на утайката
- ◆ Биогаз
- ◆ Технически води
- ◆ Плаващи вещества, мазнини, масла
- ◆ Топлина енергия
- ◆ Електрическа енергия

- ◆ Подаване на въздух
- ◆ Пясък от ПЗ
- ◆ ПЗ - Пясъкозадържатели
- ◆ ПРУ - Първични Радиални Утайтели
- ◆ ББ - Биобасейни
- ◆ ВРУ - Вторични Радиални Утайтели
- ◆ МТ - Метантанкове
- ◆ РАУ - Рециркулираща Активна Утайка
- ◆ ИАУ - Излишна активна утайка

- ◆ ПС ТВ - Помпена Станция за Технически Води
- ◆ ПС СУ - Помпена Станция за Сурови Утайки
- ◆ ПС ИУ - Помпена Станция за Изгнили Утайки
- ◆ ПС ПУ - Помпена Станция за Първична Утайка
- ◆ ПС АУ - Помпена Станция за Активна Утайка
- ◆ ПС ИАУ - Помпена Станция за Излишна Активна Утайка
- ◆ ГКУ ИАУ - Гравитационни Калопултнители за ИАУ
- ◆ ГКУ ИУ - Гравитационни Калопултнители за ИУ
- ◆ ПКЦ - Парокотелна Централна



Фиг. 1. Технологична схема на СПСОВ Кубратово

## Методи и материали

Проведени бяха лабораторни и промишлени експерименти при използване на проби от анаеробно стабилизирана утайка получена от СПСОВ Кубратово. Инсталацията за обезводняване на утайки с центрофуга се състои от помпена система за подаване на утайки, устройство за приготвяне на полимерния разтвор, снабдено със захранваща помпа, система за смесване на утайките и флокуланта, електрическо табло и центрофуга модел FP 600 2RS/M. Центрофугата е хоризонтална, с периодично действие, противопоточна, с отделяне на утайката с помощта на шнек. Характерен технологичен показател на центрофугата е ускорителното съотношение между центробежното и земното ускорение, което определя фактора на разделяне. При процеса центрофугиране на утайките разделянето на твърдата фаза от течната среда се предизвиква от действието на центробежната сила, създадена при въртене на барабана на центрофугата. Инсталацията за механично обезводняване на утайките в СПСОВ Кубратово включва пет поточни линии, всяка от които е снабдена с лентова филтърпреса модел (ЛФП) „Пасавант Рьодигер“, винтов помпен агрегат за подаване на утайките, устройство за приготвяне на разтвор от органичен полимер, с дозиращо съоръжение. За сравнение на двете технологии беше

използвана една от поточните линии с ЛФП „Пасавант Рьодигер“ и мобилна центрофуга - FP 600 2RS/M. Мобилната центрофуга беше на територията на СПСОВ Кубратово за три дни, през които се проведоха експериментите, относно проучване за по-добрата технология за обезводняване на анаеробно стабилизираната, уплътнена утайка за получаване на кек, отговарящ на нуждите на крайния потребител, лесен за транспортиране и обработка. Единствената разлика между захранването с утайки на ЛФП и центрофугата е видът на действащия катионен флокулант. При захранване на ЛФП се подава катионактивен флокулант - Praestol 650 BC, с относително тегло – 0.98 g/cm<sup>3</sup>, а при захранване на центрофугата - катионен флокулант Z tac 43-50 – Gruppo Plearalisi, с относително тегло – 0.92 g/cm<sup>3</sup>. Полимерни разтвори от двата флокуланта са приготвени в 0.1% концентрация. Опитите за подготовка на анаеробно стабилизираните утайки бяха проведени при температура 24°C с проба от същата утайка. За изучаване филтрационната способност на утайките и ефекта от добавянето на флокулант беше приложен методът за определяне времето на капиларно засмукване (ВКЗ). Характеристиките на стабилизираните, уплътнени утайки, с които са проведени експериментите са посочени в Таблица 1.

Таблица 1.

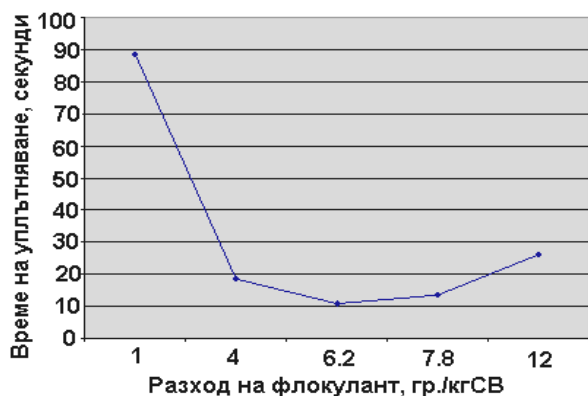
Характеристики на утайките от СПСОВ Кубратово

Ден	pH	Сухо вещество, %	Органично вещество, %	Неразтворени вещества, %	Влажност, %
I-ви ден	7.76	3.76	46.93	53.07	96.24
II-ри ден	7.80	3.83	48.19	51.81	96.17
III-ти ден	7.59	3.76	46.57	53.43	96.24

## Резултати от изследванията

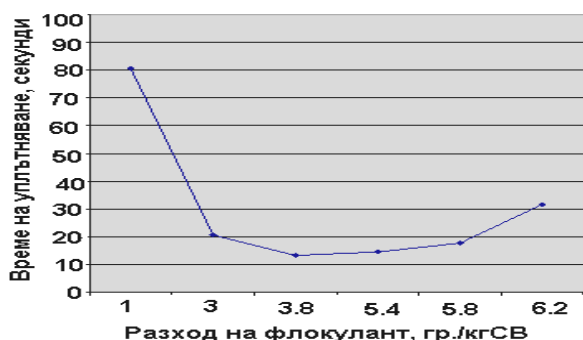
### Лабораторни изследвания за определяне на подходяща технология за обезводняване

Предмет на лабораторните експерименти беше да се оцени работата на катионните флокуланти и да се определи разхода им за обезводняване на утайките. Опитите включваха захранване на ЛФП и на центрофугата с различни разходи на флокулант от двата вида. Резултатите от тестовете за определяне времето на капиларно засмукване са показани на фигури 1 и 2.



Фиг. 1. Влияние на разхода на флокулант Z tac 43-50 върху времето за уплътняване на утайката

При опитите с катионния флокулант Z tac 43-50 се установи, че оптималния разход е между 6 – 8 g/kg сухо вещество със съответните минимални стойности на показателя време на капиларно засмукване в интервал от 10 – 15 s, както е показано на Фигура 1.



Фиг. 2. Влияние на разхода на флокулант Praestol 650 BC върху времето за уплътняване на утайката

Фигура 2 отразява експерименталните резултати с катионен флокулант Praestol 650 BC, като оптималната доза на реагента е между 3.5 – 5.5 g/kg сухо вещество със съответни минимални стойности на показателя време на капиларно засмукване в интервал от 10 – 15 s.

### Промишлени изследвания

Резултатите от промишлените експерименти, проведени със стабилизирания и уплътнена утайка и двата вида флокулант, посредством центрофуга са показани на Таблица 2.

През първоначалната фаза на промишлените експерименти проведени в СПСОВ Кубратово, оптималният разход на флокулант определен от ВКЗ тестта е потвърден чрез действие от пълния капацитет на центрофугата. Както е показано в Таблица 2 резултатите от ВКЗ тестта и промишленото изследване са в добри съотношения. Според двата експеримента (лабораторния и промишления), оптималния разход на флокулант се наблюдава в границите от 6 – 8 g/kg сухо вещество с флокулант Z tac 43-50, и от 3.5 – 5.5 g/kg сухо вещество с флокулант Praestol 650 BC.

При по-високи дози ВКЗ стойностите са склонни към увеличено влошаване на обезводнените утайки. Това влошаване е свързано с нарастване на вискозитета на утайките и на концентрацията на сухо вещество във фугата, а не с по-ниско съдържание на сухо вещество в кека. Тези резултати са склонни да подкрепят изводите описани в литературата (Vesilind, 1988), че ВКЗ стойностите са функция от сухо вещество и вискозитета във фугата.

Данните от паралелното действие на леновата филтър преса и центрофугата са изложени на таблици 3, 4 и 5. Захранването с уплътнените анаеробно изгнили утайки в двете системи има средна концентрация на сухо вещество приблизително 3.78 %.

Таблица 2.

Промислени експерименти с двата вида флокулант с центрофуга

Вид флокулант	Разход флокулант, g/kg сухо вещество	Време на капиллярно засмукване, s	Промислени експерименти	
			Захранващи уплътнени утайки, сухо вещество, %	Кек, сухо вещество, %
Течен флокулант – Z tac 43-50 на Peralisi-Italy	1	88.6	3.6	14.30
	4	18.5		20.50
	6.2	10.8		29.80
	7.8	13.5		33.20
	12	26.1		22.40
Сух флокулант - Praestol 650 BC на СПСОВ Кубратово	1	80.5	3.76	17.60
	3	20.7		19.90
	3.8	13.4		21.70
	5.4	14.6		22.90
	5.8	17.8		21.60
	6.2	31.7		19.20

Таблица 3.

Резултати от проведените промишлени експерименти в СПСОВ Кубратово с ЛФП и центрофуга с двата вида флокулант

I-ви ден, Проба №	Час на вземане на пробата	Уплътнена утайка на вход ЛФП и центрофуга		Центрофуга				Лентова Филтърпреса			
		Влажност, %	СВ, %	Разход флокулант (течен) кг/тСВ	Изход, влажност, %	Изход СВ, %	Фугат НВ, мг/л	Разход флокулант (сух) кг/тСВ	Изход, влажност, %	Изход СВ, %	Филтрат НВ, мг/л
1	08:00	96.32	3.68	7.60	-	-	-	3.60	-	-	-
2	09:00	96.33	3.67	6.90	67.34	31.19	308	5.50	78.32	21.68	394
3	10:00	96.19	3.81	7.40	68.79	31.21	296	4.10	79.71	20.29	460
4	11:00	96.17	3.83	6.50	67.20	32.80	220	3.20	78.95	21.05	402
5	12:00	96.23	3.77	6.90	68.81	32.66	262	4.80	77.25	22.75	330
6	14:00	96.21	3.79	7.90	66.40	32.73	245	4.30	77.67	22.33	362
7	16:00	-	-	-	67.27	33.60	199	-	76.86	23.14	312
		96.24	3.76	7.12	67.63	32.37	248	4.25	78.13	21.87	377

Таблица 4.

Резултати от проведените промишлени експерименти в СПСОВ Кубратово с ЛФП и Центрофуга с флокулант Praestol 650

II-ри ден, Проба №	Час на вземане на пробата	Уплътнена утайка на вход ЛФП и центрофуга		Центрофуга				ЛФП			
		Влажност, %	СВ, %	Разход флокулант, кг/тСВ	Изход, влажност, %	Изход СВ, %	Фугат НВ, мг/л	Разход флокулант, кг/тСВ	Изход, влажност, %	Изход СВ, %	Филтрат НВ, мг/л
1	08:00	96.33	3.67	3.02	-	-	-	3.80	-	-	-
2	11:00	96.19	3.81	3.80	75.81	24.19	395	3.50	77.47	22.53	330
3	12:00	96.04	3.96	4.20	72.59	27.41	321	4.10	78.39	21.61	426
4	13:50	96.18	3.82	4.04	69.41	30.59	274	3.60	77.72	22.28	364
5	14:30	96.22	3.78	4.90	68.78	31.22	245	4.80	78.49	21.51	445
6	16:00	96.17	3.83	5.30	69.80	30.20	280	4.20	76.97	23.03	305
7	17:00	96.19	3.81	5.60	71.24	28.76	304	5.60	77.85	22.15	385
8	17:40	96.02	3.98	4.00	73.93	26.07	360	4.30	78.04	21.96	402
9	18:00	-	-	-	70.77	29.23	294	-	77.68	22.32	338
		96.17	3.83	4.36	71.54	28.46	309	4.24	77.83	22.17	374

Таблица 5.

Резултати от проведените промишлени експерименти в СПСОВ Кубратово с ЛФП и Центрофуга с флокулант Z tac 43-50

III-ти ден, Проба №	Час на вземане на пробата	Уплътнена утайка на вход ЛФП и центрофуга		Центрофуга				ЛФП			
		Влажност, %	СВ, %	Разход флокулант, кг/тСВ	Изход Влажност, %	Изход СВ, %	Фугат НВ, мг/л	Разход флокулант, кг/тСВ	Изход, влажност, %	Изход СВ, %	Филтрат НВ, мг/л
1	08:00	96.22	3.78	6.60	-	-	-	6.80	-	-	-
2	10:00	96.19	3.81	6.80	67.38	32.62	305	7.03	80.8	19.20	652
3	11:00	96.20	3.80	6.50	67.04	32.96	265	8.10	79.66	20.34	605
4	13:00	96.29	3.71	7.40	68.25	31.75	330	7.60	77.06	22.94	502
5	13:30	96.34	3.66	7.80	66.64	33.36	198	8.70	78.95	21.05	586
6	14:00	96.17	3.83	6.90	66.86	33.14	220	9.30	77.43	22.57	543
7	16:00	-	-	-	67.06	32.94	274	-	79.76	20.24	630
		96.23	3.77	7.00	67.21	32.79	232	7.92	78.95	21.05	586

Лентовата филтър преса и центрофугата произвеждат обезводнени утайки със средно съдържание на сухо вещество в кека съответно 21.70% и 31.21%. При експериментите с центрофуга се наблюдава по-добро агрегиране на твърди вещества със средна концентрация на сухо вещество във фугата от 263 mg/l в сравнение с получената с ЛФП във филтрата - 446 mg/l.

В резултат на експериментите беше установено, че при работа и на двете съоръжения, при по-малки разходи на флокуланти обезводнените утайки са с по-голяма влажност, в сравнение с обезводнените утайки, при постепенно повишаване разхода на флокуланти. Максималният разход на флокулант Praestol 650 BC, при който се постигат най-високи стойности на сухо вещество в кека и най-голяма степен на агрегация на утайката за ЛФП е от 3.5 до 5.5 kg/t сухо вещество, а максималния разход на флокулант Z tac 43-50 за центрофугата е 6-8 kg/t сухо вещество. Над тези стойности се достига предозиране на разхода на флокулант, при което процеса на обезводняване на утайките се влошава и част от твърдите вещества от утайката преминават във фугата.

## Изводи

Въз основа на получените резултати от лабораторните и промишлени експерименти е доказано, че центрофугирането е целесъобразен процес за обезводняване на утайки, с прилагането на катионен флокулант Z tac 43-50 в условията на СПСОВ Кубратово.

Препоръчана за публикуване от катедра „Обогатяване и рециклиране на суровини“, МТФ

Обезводнителната инсталация с центрофуга предлага следните предимства в сравнение с лентова филтър преса: по-ефективен контрол за миризми и аерозоли по време на обезводнителния процес, по-бързо и лесно почистване и промиване, по-ниско потребление на вода, по-високо съдържание на твърди вещества в кека, ниски оперативни разходи и разходи за поддръжка, автоматично и непрекъснато действие. Оборудването на инсталацията е компактно и условията на обслужване са хигиенични. Според получените данни, центрофугата произвежда по-сух кек и изисква по-малки количества флокулант в сравнение с ЛФП. Тези предимства обаче идват и с по-високи капиталови разходи и по-висок разход на енергия. В допълнение оперирането на ЛФП е по-спокойно и изисква по-малко умения за работа и поддръжка.

Авторите изказват благодарност на "Софийска вода" АД и СПСОВ Кубратово за разрешението за публикуване на настоящия доклад.

## Литература

- Хокинг, М. 2002. *Съвременни химични технологии и контрол на емисиите*. С., Св. Климент, 99 с.
- Цачев, Ц. 1991. *Пречистване на отпадъчни води*. Част първа. С., Мартилен.
- Vesilind, P.A. 1988. Capillary suction time as a fundamental measure of sludge dewaterability, *Journal Water Pollution Control Federation*, Vol. 60, No. 2, 215-220.