

Принос за оразмеряване на Биобасейн с една суспендирана биомаса за „Чувствителни зони”, покриващо четири годишни времена

унив. проф. д-р инж. Иван Секулов; ТУ – Хамбург Харбург; Управител; „ДЕЛФИН Проект Екотехника” ООД; e-mail: sekoupart@aol.com; Адрес: гр. Хамбург 22607, “Muellenhoffweg” 22; Тел.: +49/ 40 766 2931 31; Факс: +49/ 40 766 2931 39;

РЕЗЮМЕ

Често резултатите от новопостроени или разширени пречиствателни станции с повишени изисквания за ”чувствителни зони” са незадоволителни.

Трудностите обикновено са неспазване разрешителните за заустване на пречистените отпадъчни води в приемниците. Това може да се смята за глобален проблем. Като причината за това може да се посочи използването на статични математични и динамични модели (които не са калибрирани и верифицирани) за оразмеряване на пречиствателните станции без необходимите оразмерителни параметри, определени за конкретните отпадъчни води (FOULDS) и субективно приети вариращи данни.

Игнорирането на годишните времена в даден район може да се окаже голям недостатък. В доклада ще се разгледат теоретичните основи на протичащите пречиствателни процеси и релативирането им за консорциум от различни бактерии (БПК₅ разграждащи, нитрификанти и денитрификанти), присъстващи в биомасата на биобасейна. Различните микроорганизми изискват различни оптимални условия за развитие. Това прави общия пречиствателен процес комплициран и труден за постигане на оптимум, съгласно посочените източници за несигурност при оразмеряване с математични модели. Ще се представи възможност за проверка на оразмеряването (plausibility test) с обикновен калкулатор. Предложена е едно възможно решение за оразмеряване на ПСОВ, съобразено с четирите годишни сезона.

An attempt to design a four season treatment plants for “sensitive zones”, with high requirements for N- and P- removal

Univ. Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. mult. Ivan Sekoulov i.R.; TU-Hamburg Harburg; Managing Director; “DELPHIN Projekt Ecotechnica” Ltd.; e-mail: sekoupart@aol.com; Address: 22607 Hamburg, 22, Muellenhoffweg Str.; Tel.: +49/ 40 766 2931 31; Fax: +49/ 40 766 2931 39

ABSTRACT

The results of new build or rehabilitated biological treatment plants for “sensitive areas” are very often not sufficient. This can be considered as a global problem. The cause for not covering the permitted discharge parameters can be such as lacking values charactering the waste waters, water analyses, statistic of the incoming waste waters, industrial influences, laboratory “scale up” data for design and others. An important reason is also the seasonal and climatic changes of given region.

Due to the changing season purification processes in a plant for “sensitive areas” with one sludge system can be very complicated.

In this paper will be discussed the basics of the special purification processes in a consortium of different microorganisms arts with different optimal conditions for development (BOD₅ reducing, bio-P bacteria, nitrifiers, denitrifiers and others).

Same known uncertainties issued from the mathematical models design will be mentioned.

A proposal of a design method without the use of mathematical models but with common calculator will be presented.

This can be of use also to authorities proving treatment plant designed by mathematical model methods.

1. Въведение

Пречиствателната техника е приложна наука. Пречиствателните станции се правят за конкретни случаи и всяка една е случай за себе си. Оразмерителните методи почиват на полуемпирични и често субективни методи. Изходните данни за проектиране са характерни за дадена ПСОВ и при високи изисквания, каквито са за „чувствителни зони“ практически непреносими за друг случай, освен ако не са спазени законите на подобие.

Тъй като не е възможно липсващи изходни данни, характерни за дадените отпадъчни води да се поправят или допълнят с математически изрази, които се предлагат в много експертни модели, получените решения са свързани с много несигурност. За проверка на достоверността на един математичен модел за оразмеряване служат единствено получените резултати след реализирането на обекта. Използването на математични модели за оразмеряване на ПСОВ е много удобно и широко навлязло в ежедневната практика на ВиК инженерите. Време е да се преразглеждат получените резултати, особено за случаите с повишени изисквания към пречистената отпадъчна вода. Търсят се нови оразмерителни методи, с резултати по-близки до реалността.

От десетина години се появяват, предимно в английските списания за водна наука и технология редица критични статии за незадоволителни решения с математични модели и предложения за нови методи. (8), (5)

Като сериозна трудност се очертава познатата голяма зависимост на бавно размножаващите се нитрификанти от температурата на средата, като автотрофи, нитрификанти, факултативни хетеротрофи – денитрификанти и др. нови микроорганизми.

Поставената задача е да се потърси метод за оразмеряване на биобасейни за четирите годишни времена и с един опростен удобен метод без компютър да се проверят резултати получени с математични (динамични или статични) модели.

В рамките на доклада се разглеждат пречиствателни системи с биобасейни и една биомаса – консорциум от нитрификанти, денитрификанти и микроорганизми, способни да образуват депа от полифосфати и депа от ПХБ (органично съединение). Изнасянето на фосфатите от ПСОВ става чрез излишната утайка съдържаща повишена концентрация на P, в сравнение с обикновения случай.

Изискванията за N и P в разрешителните за заустване в „чувствителни зони“ нормално са:

$BPK_5 < 25 \text{ mg/l}$

$TSS < 35 \text{ mg/l}$ (утаени вещества)

$TXN < 10 \text{ mg/l} = \sum 2 \text{ (mg/l) } N-N_{opr} + 3 \text{ (mg/l) } N-NH_4^+ + 5 \text{ (mg/l) } N-NO_3^+$

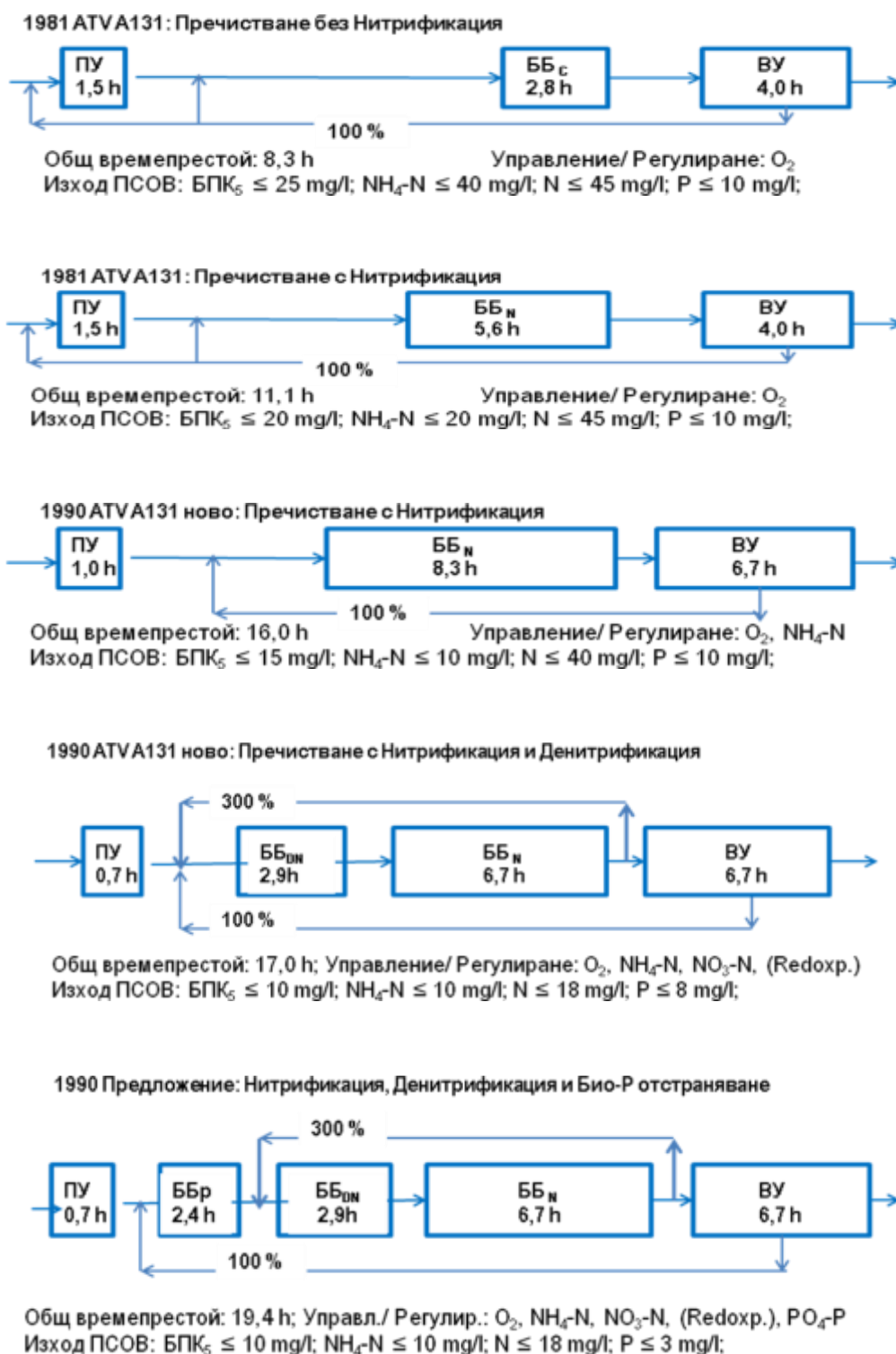
$TP < 1 \text{ mg/l}$

За големи станции новите разрешителни са издават от Басейнова дирекция и от МОСВ. Нормите за заустване в реки могат да се различават от общоприетите, тъй като зависят още от използването на речната вода за стопански цели. Тогава се ограничават биогенните елементи като товар N_0 (kg/d) и P_0 (kg/d), което води до по-ниски концентрации в разрешителните.

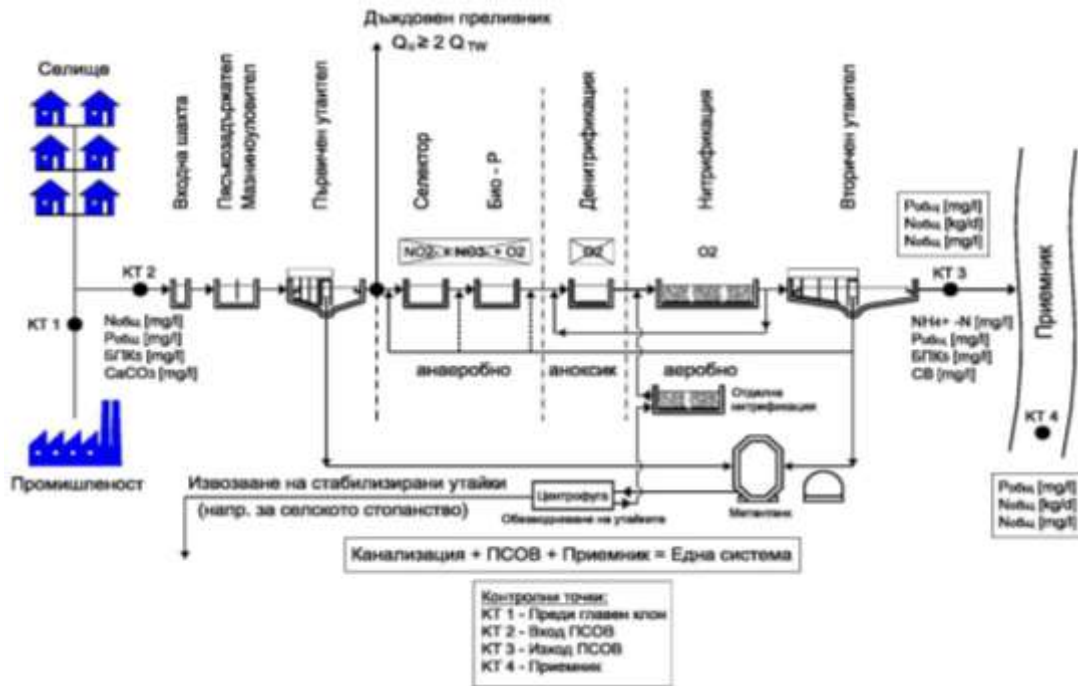
След получаване на разрешителното за заустване на пречистените води и разрешителното с изискванията за качеството на изнесената излишна утайка, според крайното ѝ депониране започва разработване на пречиствателната схема, обикновено най-малко в два варианта.

С приетата схема на ПСОВ се преминава към оразмеряване на съоръженията.

В техническата литература преди 2000^{та} год. в ГФР са описани подробно пречиствателните станции с опростено оразмеряване и очакваните резултати за качеството на пречистените води. Главно BPK_5 и амониев азот ($N-NH_4$ mg/l). В ръководството на ATV (фиг.1) са представени схеми на биобасейни с една суспендирана биомаса, обобщаваща опита за годините 1981 – 1990. Те са оразмерени главно за разграждане на BPK_5 и частична нитрификация, последвана отчасти от спорадична денитрификация (която бе оспорвана като необходима степен).

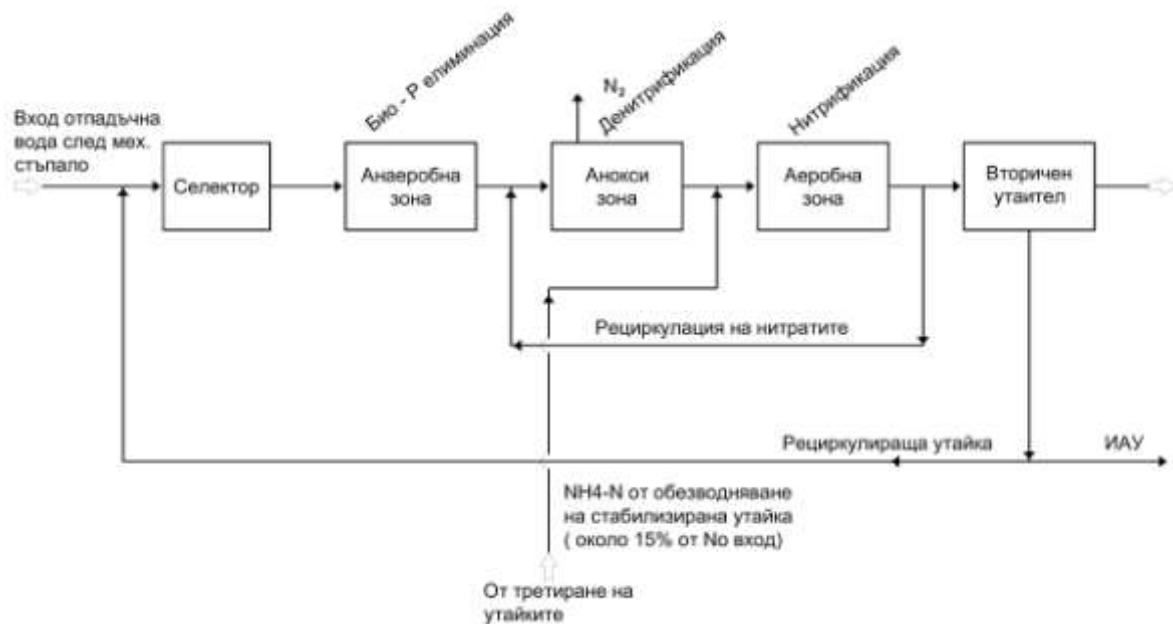


Фиг.1 Пречиствателни станции с биобасейни за отстраняване на БПК₅, NH₄ (нитрификация/денитрификация) и био-Р елиминация за годините 1981 - 1990 (ATV).



Фиг.2. Принципно технологична схема на ПСОВ за „чувствителни зони“

На фиг.2 е показана принципна схема на една пречиствателна станция за "чувствителни зони", заедно с довеждащата канализация и обозначени в нея заустващи канали на промишлени предприятия. Канализационната мрежа и колекторите се смятат за част от пречиствателната станция и се разглеждат заедно. За оразмеряване на биологичното стъпало на ПСОВ е приет един конвенционален случай – "каскадна система" с една суспендирана биомаса за отстраняване на фосфор (анаеробно), денитрификация (аноксна) и нитрификация (аеробна).



Фиг.3. Схема на каскадна пречиствателна система

На Фиг.3 е показана схема на каскадна пречиствателна система (анаеробна, анокси и аеробна). Не трябва да се забравя, че вторичния утаител принадлежи неразделно към каскадната система и е от голямо значение за крайния пречиствателен ефект на станцията.

През годините след 1980 се забелязва едно разминаване в подхода за оразмеряване – от една страна в немскоговорящите страни (ГФР, Австрия и др.), а от друга главно в Англия и САЩ. Оразмеряването с математични модели се развива и пренася от САЩ и бързо се разпространява, поради голямата му ефективност.

2. Оразмеряване за "четири сезона"

• Основни зависимости

Оразмеряване на биологични пречиствателни станции, за отстраняване на биологичните елементи и използването на механични математични модели води до много несигурности. Необходимите условия за използване на математичните модели да се калибрират, верифицират (да се докаже достоверността) и да се проверят с тест за достоверност, рядко се спазват. Моделите са трудни за независима проверка по друг оразмерителен метод.

Това довежда до търсенето на нов оразмерителен метод, основаващ се на възрастта на биомасата. Тя се оказва най-важния оразмерителен параметър за проектиране и експлоатация на ПСОВ.

Добре е да се припомни, че без нитрификанти и без разтворен кислород няма нитрификация. Първостепенна грижа е да се създадат условия за развитие на нитрификантите. При една обща биомаса за нитрификация, денитрификация и биологично отстраняване на фосфати, с различни видове бактерии се оразмерява за тези с необходимо най-голяма възраст. Това са нитрификантите с коефициент на размножение $\mu = 0,47 \text{ дни}^{-1}$ при 15°C за *Nitrosomonas*.

Най-важният белег за сезонните колебания на водната температура в биобасейна върху експлоатацията на ПСОВ е разликата в необходимия обем на биобасейна през зимата и лятото. С появилите се нови оразмерителни методи (4), (5), (6) се търси решение експлоатацията на ПСОВ да бъде целогодишна без промяна в обема на биобасейна. Те почиват на възрастта на биомасата, като най-важен параметър за проектиране, експлоатация и определяща за отстраняването на биогенните елементи в системи със суспендирана биомаса. Смята се, че от нея зависи качеството на пречистената вода, излишната биомаса и концентрацията на фосфор. (8) (Еката 2010), (9).

В досега прилаганото проектиране обикновено се подхожда от максимално необходимия обем на биобасейна през студените зимни месеци ($t < 10^{\circ} \text{C}$), като през лятото се препоръчва отделянето на излишни обемни части от експлоатацията.

Подобни трудности се явяват и при туристическите обекти със сезони зима/лято и различен брой еквивалентни жители. И тук оразмеряването е за най-неблагоприятното натоварване и изключване на излишни обеми извън туристическия сезон. Това е свързано с неоправдано високи инвестиционни разходи и оборудване, което е желателно да се избягва.

При оразмеряването на една пречиствателна система различаваме два типа модели:

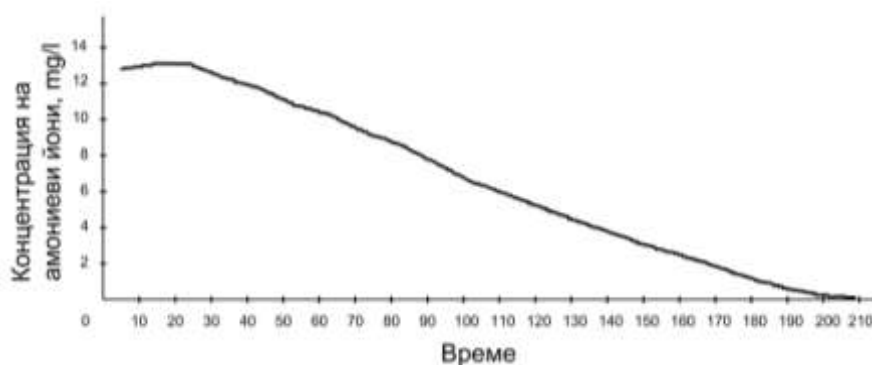
- Концептни модели за технологична схема.
- Механични математични модели за оразмеряване на биобасейните и утаителите.

Трябва да се знае, че за прилагането на математичния модел при оразмеряването на ПСОВ е необходима предварително оразмерена технологична схема по обикновения (емпиричен) път. При това се определят още размерите на биобасейна с утаителите и предвидената експлоатация. Обикновения метод за оразмеряване (нормално с калкулатор) ще се използва и в бъдеще. (Krois 2006), (7)

Тъй като времепрестоя t (часа) е един основен параметър при нитрификацията, би трябвало да се определи преди започване на предстоящото преустройство на ПСОВ. За лабораторен опит е необходимо да се смесят 50% биомаса от рецикулацията с 50% отпадъчна вода на вход биобасейн, да се добави 20 мг/л $\text{NH}_4\text{-N}$ и аериране. Процеса на нитрификация може да се проследи от фиг.4.

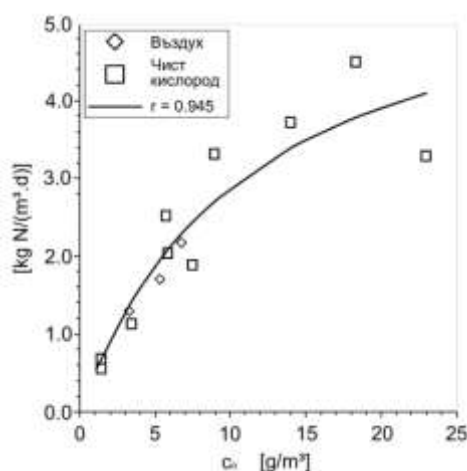
Известното приемане концентрацията на биомасата (const) $\text{TS} = 3.0 \div 3.5$ (гр/л) за всички температурни условия ($T = 10^0 \text{ C} \div 20^0 \text{ C}$) в биобасейна води до сериозно влияние върху очакваните резултати. Това се отнася и до строго зависимите биологични процеси. Познанието им от проектантите е в основата на добри решения.

Проектирането на ПСОВ за чувствителни зони е необходимо вместо да се приемат субективно или от таблици оразмерителни параметри, да се определят по лабораторен път. (scale-up) (5) Така например на Фиг.4 е представен един опростен метод за определяне на необходимия времепрестой за нитрификация в аеробния биобасейн.

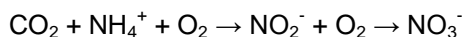


Фиг.4. Диаграма от лабораторен опит за определяне времето за нитрификация в аеробния басейн. (5)

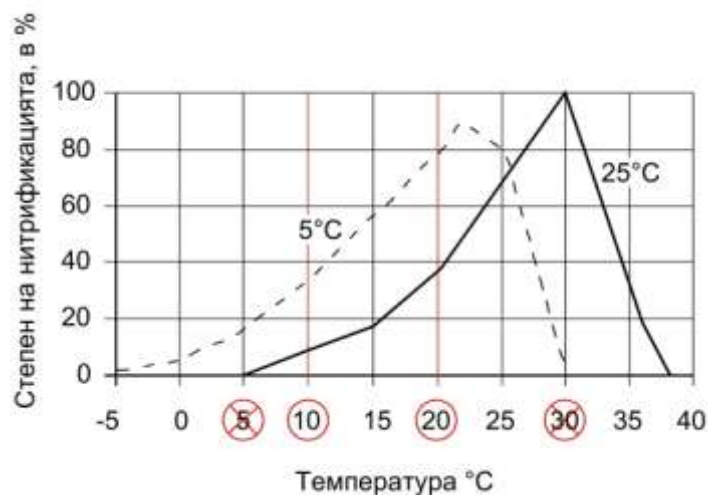
За едно успешно проектиране на ПСОВ за "чувствителни зони" се изисква от инженера не само собствен опит и владеене прилагането на метода за оразмеряване, но и широки познания за биологичните процеси и техните зависимости от условията и концентрациите в съответните отпадъчни води. Кратка информация за по-важните зависимости за нитрификацията може да се види на фигури (4 ÷ 9).



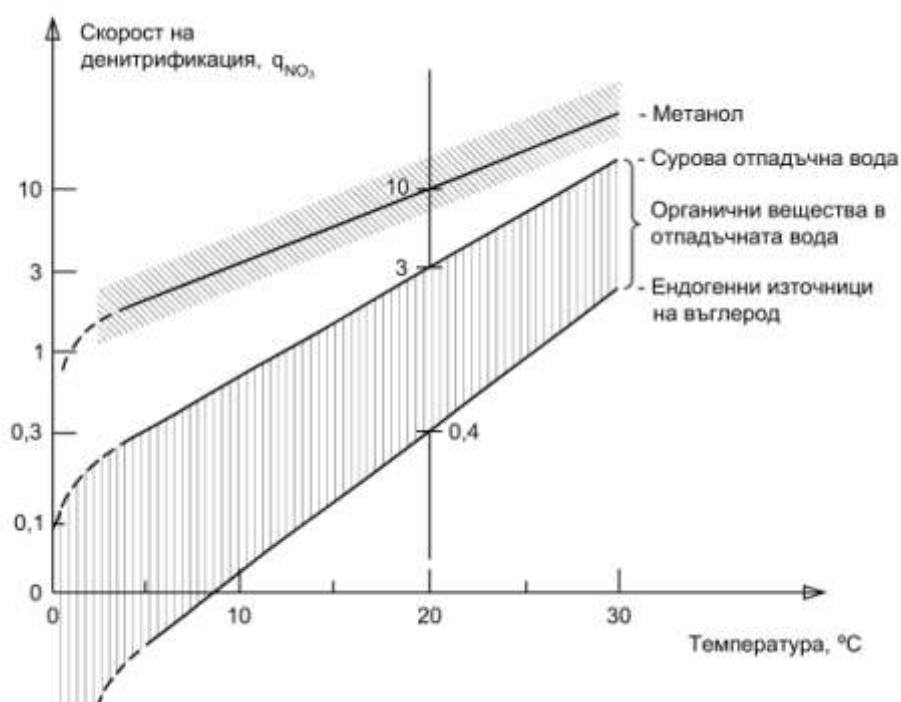
Фиг. 5. Зависимост на нитрификацията от концентрацията на разтворения кислород



Стехиометрично за 1mg N-NH₄ са необходими 4,57 mg O₂. Скоростта на нитрификацията V_{Ni} (мг/г/час) е зависима от температурата, рН, разбъркването, концентрацията на кислорода, амониевите йони и др. На фиг. 5 е представена зависимостта на нитрификацията от концентрацията на разтворения кислород



Фиг.6. Влияние на температурата върху скоростта на размножаване на нитрификантите

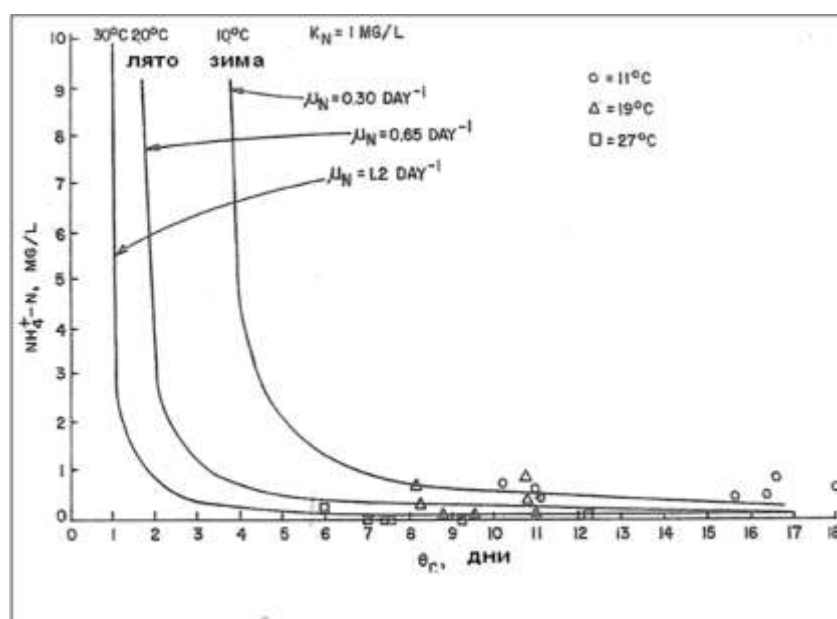


Фиг.7. Влияние на температурата върху скоростта на денитрификация



Фиг.8. Действие на фосфат акумулиращи бактерии и преминаване от аеробна в анаеробна среда

С помощта на уравнението на Svante Arenius може да се определят възрастите на биомасите за желаните температури – напр. 10°C, 20°C, 30°C. С получените възрасти и концентрации на биомасите се оразмеряват каскадите на биобасейна за нитрификация и денитрификация (4), (фиг.9)



Фиг.9. Оразмерителни и действителни нитрификационни стойности Зависимост между възраст на утайката и концентрация на амониите йони в пречистената вода (4).

От фиг. 9 се вижда, че при използване на фактор за сигурност $1,5 \div 2,0 = f$, оразмеряването е със значително по-голяма възраст на биомасата. Поради това, че при по-голяма възраст на биомасата тя се изражда и преминава към аеробна стабилизация с негативни последици за желаните пречиствателни процеси (нитрификация, денитрификация и био-Р), би трябвало да се търси възможност да се избегне f .

Тъй като процесите за денитрификация и биологично отстраняване на фосфати се извършват от различни видове микроорганизми важно е да се спазва съотношението:

$N : БПК_5 > 1 : 3,5 \div 4,5$ - за денитрификация

$N : БПК_5 > 1 : 60$ – за биологично отстраняване на фосфатите

Тези проверки са задължително условие преди всяко оразмеряване на ПСОВ за "чувствителни зони".

• Изходни данни, зависимости и уравнения

Ново оразмеряване на ПСОВ за чувствителни зони за "четири сезона", на основата на възрастта на биомасата ($\Theta_{\text{дни}}$)

Спазване на зависимостта: $\mu_{\text{БПК}_5} < \mu_{\text{нитрификант}}$, като основно условие за нитрификация.

Възрастта на биомасата (Θ) се определя чрез баланс на сухото вещество TS (kg) в ПСОВ. Използваното уравнение е:

$$\Theta = \frac{\text{биомаса в биостъпало-TS (kg)}}{\text{изнесена биомаса UTS (kg/d)}} (d)$$

Θ - възрастта на биомасата в дни

Оразмеряване на биобасейна в зависимост от температурата на водата в биобасейна, най-ниската стойност се очаква между 7°C и 10°C (фиг.5) през зимния сезон. Необходимите данни за оразмеряване са както следва:

- водно количество $Q(\text{m}^3/\text{d})$; $Q = Q_{\text{средно сухо време}} (\text{m}^3/\text{d})$, $Q = Q_{\text{оразмерително за биобасейна}} (\text{m}^3/\text{d}) = 2Q_c (\text{m}^3/\text{d})$
- $t^{\circ}\text{C}$ – месечна температура на водата в биобасейна (зима), $t = 10^{\circ}\text{C} - 12^{\circ}\text{C}$ и лято $15^{\circ}\text{C} - 25^{\circ}\text{C}$ за континентален климат
- N_0 – общ азот (kg/d) (N_{max}) (N_{min})
- БПК₅ (kg/d)
- алкалност на входящата отпадъчна вода (CaCO_3) (mg/l)
- данни за експлоатацията: O_2 (mg/l); TS (g/l), pH, токсични химикалии др.

Необходимите оразмерителни части са:

- UTS (kg/d) необходима излишна утайка, за да се постигне желаната възраст - Θ (kg/d);
- $F : M$ kg (БПК₅) да се определи желаното натоварване според UTS (kg/d) изнесена на ден;
- t (часа) времепрестой за нитрификация в аеробната част на биобасейна

Намираме Θ (дни) с помощта на специфичната скорост на разтеж на нитрификантите $\mu_{\text{нитр.}}(\text{ден}^{-1})$:

$$\Theta = 1 : (\mu_{\text{нитр.}} - K_{\text{нд}}) (\text{дни})$$

$$K_{\text{нд}} (\text{ден}^{-1}) = 0,05 (\text{дни}^{-1}) - \text{отмиране на нитрификант}$$

Стойността на μ (ден^{-1}) може да се намери с помощта на уравнението на Monod, допълнено с математичния израз на Svante Aregenius за μ_{max} (20°C)

$$\mu_{\max} = 0.45 e^{0.098(20^{\circ}C - 15^{\circ}C)} = 0.7056 (d^{-1})$$

$$\mu_N = \mu_{\max} \left(\frac{NH_4 - N}{K_n + NH_4 - N} \right) \left(\frac{O_2}{K_{O_2} + O_2} \right)$$

$$\mu_N = 0.7056 \left(\frac{1.0}{0.5 + 1.0} \right) \left(\frac{2.0}{1.0 + 2.0} \right) = 0.317 (d^{-1})$$

$$\Theta = \frac{1}{0.317 - 0.5} = \frac{1}{0.267} = 3.74 \text{ days}$$

Определяне на TS в биобасейна:

$$\Theta = \frac{TS \cdot t}{(0.55 \cdot 170) - (0.1 \cdot 64 \cdot TS \cdot t)}$$

$$TS = \frac{699.38}{1.5} = 466.9 (mg/l)$$

TS – сухо вещество (mg/l)

t - време престой (h)

a = 0.55 g TS/g БПК₅

170 - БПК₅ (mg/l)

0,1 - скорост на разпадане на биомасата

64 – разградима част от TS сухо

За t = 0.25 дни → TS органично = 466.9 / 0.25 = 1868 (mg/l)
TS сухо = 2589 (mg/l при 75% сухо вещество)

В случая не се използва предвидения коефициент "незнание на инженера" f = 1,4 – 1,8 за математични модели.

Примерно оразмеряване за ПСОВ "четири сезона" с биобасейн за нитрификация и денитрификация (EPA/1993 г.) (6)

За примера е използвано решение от EPA (6) и оразмеряване по ATV/DWA. На фиг.10 са представени обемите на биобасейните при различни температури (10⁰C, 15⁰C, 20⁰C). От табл. 1 може да се видят отделните обеми, възрастта на биомасата и коефициента μ_n(ден⁻¹) скорост на нитрификация.

Таблица 1

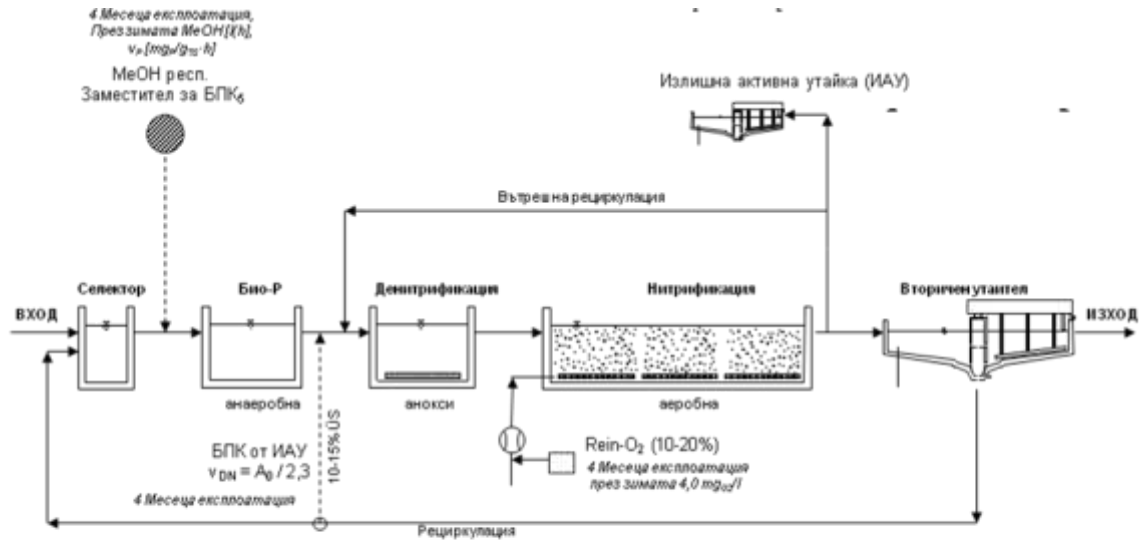
Стойности	10 ⁰ C	15 ⁰ C	20 ⁰ C
V _{анокси} (m ³)	5370	3640	2270
V _{аеробно} (m ³)	4980	3410	2380
V _{общо} (m ³)	10350	7050	4650
Θ _{дни}	5,5	2,5	1,5
μ (ден ⁻¹)	0,3	0,65	1,2
TS(kg/d)	4,5	3,5	2,0
Δ V _{общо} (m ³)	5700	1400	0

ΔV* (20⁰C) - обем при приемане на летния реакционен обем за основа на този за четирите сезона:

по БПК₅ – V₀ = 1779 (kg/d разграждане)

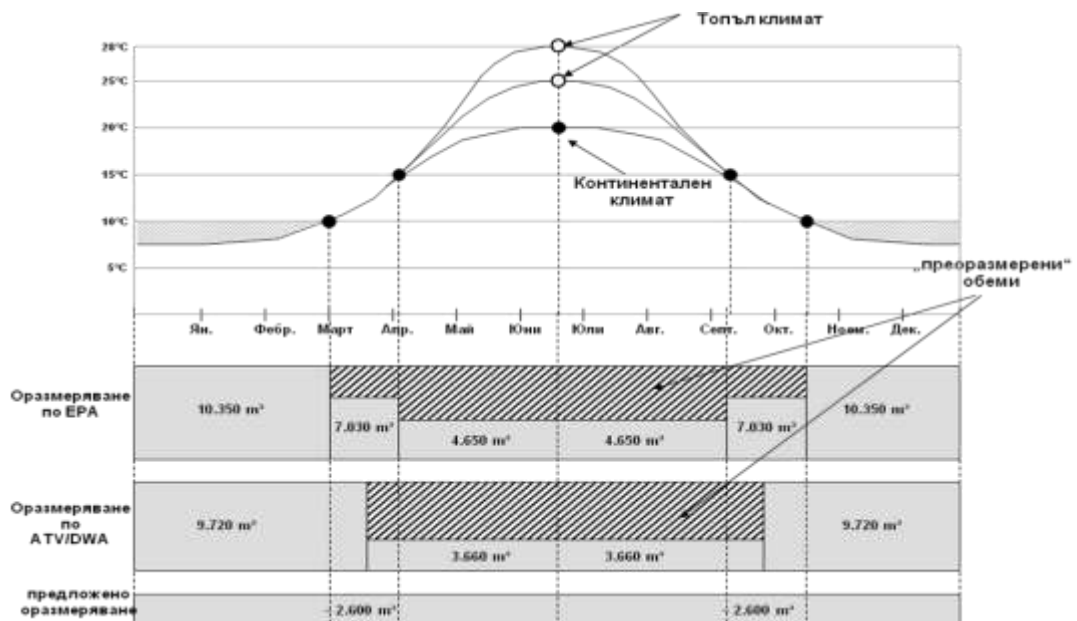
отстраняване на азот ΔN = 350 (kg/d нитрификация/денитрификация)

На фиг.10 е представена схематично ПСОВ за "четири сезона", а на фиг.11 е показана възможността да се намали обема на ПСОВ според температурата на водата.



	Януари	Фебр.	Март	Апр.	Май	Юни	Юли	Авг.	Септ.	Окт.	Ноем.	Дек.
[gTS/l]	4,0	4,0	4,0	3,5	3,5	2,0	2,0	3,5	3,5	4,0	4,0	4,0

Фиг.10. Схематично представяне на ПСОВ за „четири сезона”



Фиг.11. Представяне влиянието на температурата през четирите сезона и съответните реакционни обеми на биобасейна

3. Предложение за експлоатация

Оптимизиране на ПСОВ с минимален оразмерен обем през летния сезон (20⁰С) да покрива нормите и зимно време (10⁰С) може да се постигне с увеличаване на реакционните скорости на нитрификация и денитрификация

$$V_{\text{лято при } 20^0} = V_{\text{зима при } 10^0} + \text{варираща биомаса} + \text{вариращи } V_{\text{нитр.}} \cdot V_{\text{денитр.}} \text{ и } O_2$$

Според температурата на водата се оптимизират пречиствателните процеси, както следва:

- а) – концентрацията на биобасейна (фиг.11)
- б) – контрол на рН и алкалността
- в) – повишаване или намаляване на скоростта на нитрификацията, чрез промяна на концентрацията на разтворения кислород от 0,5 ÷ 1,5 mg/l на 4,0 mg/l
- г) – увеличаване скоростта на денитрификация, чрез дозиране на излишна утайка или метанол
- д) – Подаване на лесно усвоимо БПК₅ в отношение БПК₅ и Р = 60:1

На фиг. 10 е представена схема за "четири сезона" ПСОВ с връзките за дозиране на метанол (MeOH) в аеробния басейн за био-Р – елиминация, излишна утайка в аноксния басейн за денитрификация и усилване на аерационната система в басейна за нитрификация.

4. Заключение

- Оразмеряването на ПСОВ за "чувствителни зони" (N и P отстраняване) се различава от това за "нечувствителни зони" (БПК₅ разграждане). Хетеротрофните микроорганизми взимат органичния въглерод и енергията от органичното замърсяване (БПК₅) и коефициента на разтежа им е 3 до 4 пъти по-висок от този на аутофните нитрификанти.
- Нитрификантите са облигатни аероби с бавен разтеж. Въглерода за обмяната на веществата е въглероден двуокис (СО₂ аутоф) и енергия се получава от атоми на амониевите (NH₄⁺) соли. Процесът е каталитичен. Търсят се нови методи и технологии за подобряване на нитрификацията през зимния период (t < 7⁰С – 10⁰С).
- С вариране на концентрацията на биомасата в биобасейна според температурните колебания, може да се подобри действието на пречиствателните процеси при намаление на инвестиционните и експлоатационни разходи.
- Оптимизирането на ПСОВ за "четири сезона" е перспектива за икономично строителство и експлоатация не само за конвенционални битови ПСОВ, а и за тези в туристическите райони.
- Както бе споменато ВиК е приложна наука и резултатите от практиката са потвърждение на уменията за оразмеряване. В достъпната техническа литература има голям брой статии за потвърждение на метода в областта на преустроени ПСОВ. Съобщава се за подобрения на експлоатацията и крайните резултати.

Използвана литература:

1. Abwasserbehandlung DWA Juni 2006, ISBN 3 – 86068 – 272 – 5
Bauchaus Universitat – Weimar
4. Nutrient control Manual of Practice FD-7 Wafer pollution Control
Federation 1983
5. James P. Scisson Jr. Nitrification Myths
WE&T; June 2006
6. EPA Manual. Nitrogen Control EPA 625/R – 93/010, Sept. 1993
7. Helmut Kraus Wiener Mitteilungen, 2006...195, (1 – 140)
8. G.A. Ekama The role and control of sludge age in biological nutrient removal in activated sludge systems. Water Science & Technology 61.7 (2010), pp. 1645 – 1652
9. Abwassertechnologien Ruhr Universitaet Bochum
Fur andere Laender Bochum D - 44780