



Experimental-Statistical Study of Black Sea Bottom Dragging Productivity

Krasimira VANGELOVA

Technical University of Varna, Varna, Bulgaria
e-mail: k.vangelova@tu-varna.bg

Abstract

The purpose of the methodology is to establish the technological capabilities of the method for dredging the Black Sea bottom using the methods of experimental planning and mathematical statistics to optimize the regime parameters experimentally and create new methods and tools to increase process productivity of dredging.

Keywords: dredging, productivity, experimental planning, mathematical statistics

Експериментално-статистическо изследване производителност на драгиране на дъното на Черно море

Красимира ВАНГЕЛОВА

1. Увод

Процесът на драгиране на дъното на Черно море се нуждае от допълнителни изследвания, които да уточнят технологичните му възможности. Това може да се осъществи по експериментален път като се използват методите за планиране на експеримента и математическата статистика, със заложен нормален закон на разпределение.

Решаването на задачите на изследването е свързано с предварителното изучаване на възможностите за целенасочено изменение на производителността на драгиране след драгиране на дъното на Черно море в зависимост от главните променливи, управляващи процеса – вида на материала на дъното, който се драгира, дълбочината на драгиране и обема на кофата. Всичко това изисква голям обем от изследвания, за да се установи връзката между променливите, управляващи процеса на драгиране на дъното на Черно море.

Анализът на литературните данни показва, че в настоящия момент няма достатъчно данни за построяването на аналитичен модел поради наличието на нелинейни зависимости между компонентите на изследваната система. Това налага използването на статистико-експериментален подход за разкриване на реалните реакции на изследваната система чрез насочени и точно определени предварително планирани въздействия. Всичко това включва следните основни етапи [1,2,3,4,5]:

- избор на достатъчно значими, оценяващо резултативни технологични фактори (независими променливи величини) с ясна физична интерпретация и определящи поведението (реакцията, отклика) на изследвания обект и процес и областта на тяхното изменение;
- определяне на изходен параметър (отклик);
- избор на методики за изследване, изпитване и създаване на критерии за оценка на факторите, влияещи на процеса на драгиране на дъното на Черно море;

- избор на планиране на експерименталното изследване;
- избор на схема на експеримента, експериментална уредба и схема на измерванията и регистрацията им;
- провеждане на експерименталните изследвания;
- статистическа обработка на получените данни и съставяне на регресионен модел;
- оптимизиране параметрите на модела;
- графичен анализ на регресионния модел.

2. Теоретична постановка

За извършването на експерименти, които в максимална степен да се доближат до реалните възможности на драгиране на дъното и драги за осъществяването им, е необходимо да се наблюдават някои характеристики на изследваните обекти като: управляемост и степен на възпроизводимост на резултатите.

Обектът е управляем, ако може да бъде приведен в кое да е от неговите състояния, при това поддържано с определена точност определено време. Това му качество позволява да се провеждат „активни“ експерименти. Машините притежават необходимата характеристика „управляемост“, което означава, че системата ѝ за управление позволява лесно, бързо и точно да се настройва на определени режими на работа, поддържайки ги с необходимата точност продължително време.

Степента на възпроизводимост на резултатите е друго важно свойство на обекта. За оценяването му е необходимо да бъдат проведени серия паралелни експерименти при едно и също състояние на драгата, но в различни моменти от време. Продължителната подготовка на машината за експериментална работа и провеждането на експеримента показват, че тя отговаря и на това изискване, но, за да се анулира влиянието на систематични грешки, свързани с реда на провеждане на експериментите, поредният им номер се подбира като случайно число.

2.1. Избор на план на експеримента

Планирането на експеримента е процедура за избор на броя и условията на провеждане на опитите, необходими и достатъчни за решаване на поставената задача с исканата точност. Основните предимства на активния експеримент са [1,2,3,4,5]:

- минимизация на общия брой опити;
- избор на ясни логически обосновани процедури изпълнявани последователно от експериментатора при провеждане на изследванията;
- използване на математически апарат, формализиращ много от действията на експеримента;
- едновременно вариране на всички променливи и оптимално използване на факторното пространство;
- организиране на експеримента по такъв начин, че да се изпълнят много от изходните предпоставки на регресионния анализ;
- получаването на математически модели, имащи в някакъв смисъл по-добри свойства, в сравнение с моделите, построени въз основа на пасивния експеримент;
- рандомизиране условията на опитите, т.е. превръщане на многото пречещи фактори в случайни величини;
- оценка на експеримента на неопределеност, свързан с експеримента, който дава възможност да се съпоставят резултатите, получени от други изследователи.

Поведението на изследвания процес (обект) почасова производителност на драгиране и параметрите на драгиране на дъното на Черно море, зависят обикновено от много променливи величини. Понякога не сме в състояние да посочим всички променливи, оказващи въздействие на обекта. Затова се отделят най-важните входни фактори (независимите променливи), които се изменят и контролират по време на експеримента, а останалите се приемат за постоянни или въобще не се контролират.

Един от критериите за оптималност на плановете може да бъде броят на опитите в тях. В по-голяма част от случаите експериментаторите се стремят броят на опитите да бъде колкото може по-малък. Един от най-икономичните по брой на опитите планове са предложени от Хартли, Рехтшафнер. Оказва се, че може да се поставят планове броят на опитите който е или равен на броя на коефициентите в модела или малко по-голям [1,2,3,4,5].

Структурата на информационната матрица и матрицата на грешките за планове е анализирана подробно. Оказва се, че в информационната матрица може да се появят различно от нула нечетни моменти. В резултат на това такива планове се оказват несиметрични.

2.2. Входни величини (фактори)

Поведението на изследвания обект зависи от много променливи величини. В такъв случай се отделят най-важните от тях, които могат да се изменят и контролират в хода на експеримента, а останалите се приемат за постоянни или въобще не се контролират [1,2,3,4,5].

Най-общите изисквания към изменяемите и контролируеми от експериментатора променливи величини – т.нар. фактори, са следните:

- независимост – всеки един от факторите да може да бъде установен на предварително зададена стойност, без това да влияе върху стойностите на другите фактори;
- съвместимост – всяка комбинация от стойности на избраните за вариране фактори да може да доведе до реална физическа реакция (отклик) на изследвания обект.

Броят и видът на избраните при изследването фактори зависи от естеството на задачата и възможностите за експериментиране. Обикновено при неавтоматизиран експеримент, броят на факторите е между 3 и 10. Трябва също така да се има предвид, че увеличаването броя на факторите води до още по-голямо увеличаване количеството на опитите, при което съществува опасност от засилване влиянието на неконтролируемите променливи (случайни смущения, материали и др.).

За входни величини са избрани технологичните параметри на процеса: обем на кофата V_k , m^3 , твърдост на материала на почвата – SPT, оценен чрез коефициента якост на срязване N , kPa и дълбочина на драгиране OD , m CD , имащи пряко отношение за определяне на почасовата производителност на процеса на драгиране на дъното на Черно море. Определянето на диапазона, в който ще варират факторите, е свързано с възможността да бъде осигурена независимост и съвместимост между тях. Освен това е необходимо те да се изменят в областта от действителните им стойности в рамките на технологичния режим. За целта се събират предварителни данни за обекта.

Широко разпространение в практиката на този вид изследвания е намерило т.н. факторно пространство, при което за всеки фактор се задава долна и горна граница на изменение:

$$z_{i,\min} \leq z_i \leq z_{i,\max} \quad (1)$$

При планиране на експеримента е удобно да се работи с т.нар. нормирани (безразмерни) фактори и с интервал на вариране Δz_i .

Лесно може да се провери, че след кодирането факторите се изменят в границите от (-1) до (+1). В специални случаи се налага вариране на факторите извън този диапазон в т.нар. звездни точки, което също трябва да се има предвид при определяне на реалния им диапазон на изменение за осъществяване на експерименталния план. В този случай изменението на факторите не е независимо, а се подчинява на определени правила.

Въз основа на предварително събрана информация за процеса на драгиране на дъното на Черно море и провеждане на някои предварителни експерименти са установени стойностите на факторите и интервалите на варирането им, представени в табл. 1.

Таблица 1 Стойности и интервали на вариране на факторите при драгиране на дъното с плавателен съд „GOSHO“ за определяне на почасовата производителност на драгиране

ФАКТОРИ		Интервали на вариране		
		долно ниво	средно ниво	горно ниво
		-1	0	+1
Z ₁	Обем на кофата V _k , m ³	56	128	200
Z ₂	Твърдост на материала на почвата N, kPa	0-10	30-50	50-100
Z ₃	Дълбочина на драгиране OD, m CD	-15	-25	-35

Трябва да се отбележи, че ако при решаване на оптимизационната задача се наложи разширяване на интервала за вариране, стойностите на горното и долното ниво са съобразени с възможността на факторното пространство да могат да приемат по-големи стойности.

2.3. Изходни величини (параметри).

Изходният параметър представлява количествена характеристика на изследвания обект. За разглеждания случай на драгиране на дъното на Черно море такава характеристика е почасовата производителност на процеса на драгиране на дъното с драга „GOSHO“.

Основните изисквания към изходния параметър са:

- количествено, еднозначно, ефективно и с достатъчна пълнота да характеризира обекта на изследване;
- да има ясен физически смисъл;
- универсалност.

Планирането се счита за ефективно, ако е избран изходен параметър, който може да се определи с най-голяма точност.

В случая този параметър удовлетворява напълно тези изисквания, още повече че е елемент на технологичния режим, а това дава възможност да се получат зависимости за връзката между отделните параметри и тяхното аранжиране, което е целта на експерименталната работа и на настоящата методика.

2.4. Критерии за оценка на обекта

Тъй като в преобладаващата част от случаите на драгиране на дъното на Черно море, целта е получаване на повърхност по зададен профил и размери, указани в техническата документация. Критерии за оценка на процеса на драгиране на дъното е добро качество на повърхността на дъното, получена за кратко време и ниска цена. Това предполага равномерност на дънната повърхност от обработването по този метод,

достигане на оказаната дълбочина на драгиране на дъното. Това ще позволи безпроблемно да се осъществят плавателни дейности в зоната която е драгирана. Опитът за всеки режим от плана на експеримента се счита за успешно проведен, щом са изпълнени горните критерии.

3. Методика на експеримента

В тази част от изследванията си поставяме за цел да намерим връзката между технологичните фактори и производителността при процеса на драгиране на дъното на Черно море. За целта изменяме три технологични фактора и оценяваме влиянието им върху почасовата производителност на процеса.

Експериментите са проведени на базата на приетия ОЦКП при избраните фактори и нива на вариране. Планът на експеримента се състави по предложен от Рехтшафнер модел, съгласно който се изисква факторите да се изменят на три нива (-1; 0; +1). Нивото на изменение на факторите и техния физически смисъл е показан в табл.1. За основно ниво е избран режимът на драгиране на дъното.

Планът на Рехтшафнер изисква извършването на единадесет експеримента с вариране на нивата на факторите и три за доказване повторемостта на резултатите. Матрицата на избрания план с резултатите от експеримента е дадена в табл. 2. Зададените от плана опити се изпълняват до достигане необходимата дълбочина от дънната повърхност, като всички останали фактори се поддържат постоянни.

По данните в табл. 2. и с използване на възможностите на Microsoft Excel се обработват данните от експеримента и се изчисляват регресионните уравнения на функцията, за всяка от горепосочените машини.

Таблица: 2. Матрицата на избрания план при процеса на драгиране на дъното с плавателен съд GOSHO

N	M										Y ₁	Y ₂	Y ₃	Ȳ m ³ /h
	X ₀	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁ .X ₂	X ₁ .X ₃	X ₂ .X ₃	X ₁ ²	X ₂ ²	X ₃ ²	q			
1	1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	657	657	656	657
2	1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	1	260	259	258	259
3	1	1	-1	1	-1	1	-1	1	1	1	1531	1530	1529	1530
4	1	1	1	-1	1	-1	-1	1	1	1	570	571	572	571
5	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	769	768	767	768
6	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1817	1818	1819	1818
7	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	1	331	330	329	330
8	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1043	1042	1041	1042
9	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	389	388	387	388
10	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	713	712	711	712
11	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	846	845	844	845

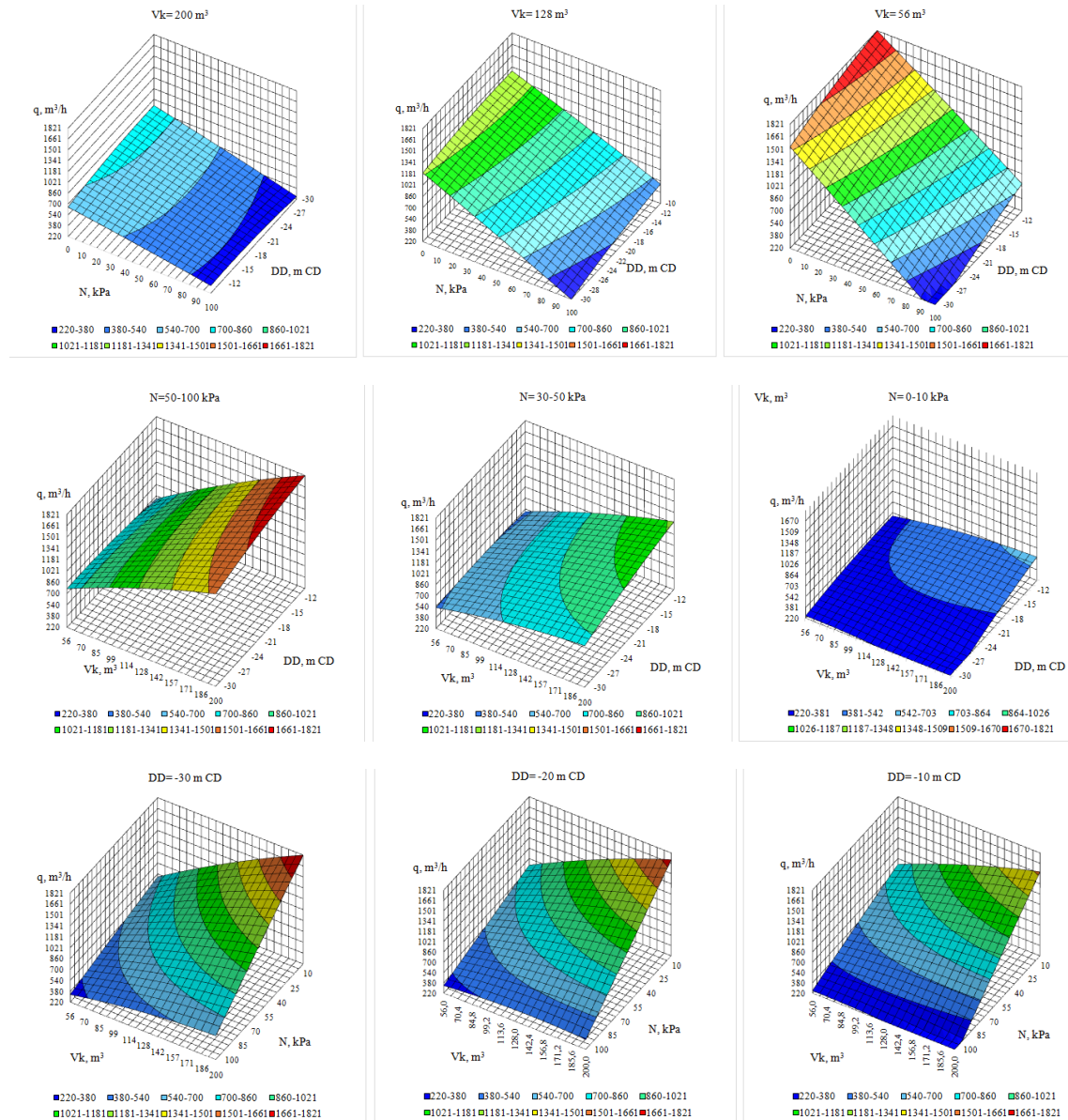
Изследването на влиянието на технологичните параметри върху производителността на процеса на драгиране на дъното на Черно море се определя чрез съставяне на регресионни уравнения. За решаването на регресионното уравнение за всяка машина се определят коефициентите и тяхната значимост.

Замествайки получаваме уравнението на регресия във вида:

$$Y(X_1, X_2, X_3) = 839.89 + 249.15 \cdot X_1 - 440.60 \cdot X_2 - 91.35 \cdot X_3 - 231.28 \cdot X_1 \cdot X_2 - 101.03 \cdot X_1 \cdot X_3 - 46.78 \cdot X_2 \cdot X_3 - 44.50 \cdot X_1^2 - 8.75 \cdot X_2^2 - 34.0 \cdot X_3^2$$

По направените изчисления за критерия на Фишер (F-критерий) определяме, че моделът е адекватен.

Чрез използване отново на Excel, за оптимизиране параметрите на модела, търсим максималната производителност във факторното пространство, ограничено от кодираните променливи с граници (-1, 0; +1).



Фигура 1. Изолинии за максимална почасова производителност в околността на оптимума при всички комбинации на факторите, за плавателния съд „GOSHO“.

В оптималната точка се получава максимална почасова производителност $q = 1819 \text{ m}^3/\text{h}$ и тя има следните кодирани и натурални координати:

- Обем на кофата, $V_k - x_1 = 200 \text{ m}^3$;
- Твърдост на материала на почвата $N - x_2 = 0-10 \text{ kPa}$;
- Дълбочина на драгиране, $OD - x_3 = 10 \text{ m CD}$.
- Графичен анализ на регресионния модел на q в областта на оптимума.

Обработката на статистическите данни, чрез програмния продукт Excel позволява построяването на изолинии за модела (фиг. 1).

Тези изолинии дават представа за максимална почасова производителност в околността на оптимума при всички комбинации на факторите, за плавателния съд. На всяка от фигурите q е функция на два фактора при постоянни (оптимални) стойности на останалите два (нулевите координати на новата координатна система) и е представена в размерност m^3/h .

След процеса на драгиране на дъното на Черно море обработено по режимите описани в табл. 2, се забелязва високо качество на повърхнината на дъното, което е основна цел при такъв вид обработка.

4. Анализ на резултатите от изследването на процеса на драгиране на дъното на Черно море.

От направения експериментално-статистически анализ за процеса на драгиране на дъното на Черно море, по значимост факторите, влияещи на почасовата производителност на драгиране q , се подреждат така:

а) най-важен фактор за почасовата производителност на драгиране q се явява обемът на кофата, V_k . Математическият модел показва, че изменението на обема на кофата V_k води до монотонно и съпосочно изменение на почасовата производителност на драгиране;

б) следващ по важност фактор за почасовата производителност на драгиране q е твърдост на материала на почвата N , като в областта на оптимума неговата значимост е около 90% от тази на обема на кофата, V_k .

в) фактор, влияещ по-незначително върху почасовата производителност на драгиране е дълбочина на драгиране OD . В района на оптимума, явяващ се за него локален максимум, важността му за почасовата производителност на драгиране q е приблизително незначителна.

5. Изводи.

Въз основа на направения анализ на получените резултати и построените диаграми можем да направим следните изводи:

- Анализът на графичните зависимости потвърждава изводите, направени по отношение на ранжирането и значимостта на трите фактора V_k , N , OD и влиянието им върху q , въпреки че някои от координатите на точката на оптимума са далеч извън границите на факторното пространство, определени в табл. 2 ясно се вижда влиянието на факторите върху почасовата производителност на драгиране и тенденцията на възможностите за нейното увеличение.

- Получени са регресионните уравнения и определена максимална стойност за почасовата производителност на драгиране за GOSHO е 1819 m³/h, а за RM 661 е 1522 m³/h.
- От направения анализ се вижда високото качество на повърхнините след драгиране на дъното на Черно море, което е основна цел при такъв вид обработка.

Литература

1. Vuchkov I.N., Experimental Research and Identification, Tehnika, Sofia, 1990, p.320.
2. Vuchkov I., Optimal Planning for Experimental Research, S., Tehnika, 1978, p.232.
3. Vuchkov, I., Stoyanov, S. Mathematical modelling and optimization of technological objects. S., Tehnika, 1986, p.341.
4. Vuchkov, I., Stoyanov, S., Velev K. Instructions for laboratory exercises in mathematical modelling and optimization of technological objects. S., Tehnika, 1986
5. Ivanov G., Kyuchukova V. Instructions for solving mathematical optimization problems. S., Kliment Ohridski, 1989