

АГРАРЕН УНИВЕРСИТЕТ – ПЛОВДИВ
ФАКУЛТЕТ ПО ЛОЗАРО-ГРАДИНАРСТВО
КАТЕДРА МЕХАНИЗАЦИЯ НА ЗЕМЕДЕЛИЕТО

ИЛИЯН БОЖИДАРОВ БОЖКОВ

**Безстепенно регулиране на сеитбената норма
при редосеялка Saxonia A200**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

на дисертация за присъждане на образователна и научна степен
“ДОКТОР”
научна специалност “Механизация и електрификация на
растениевъдството”

НАУЧЕН РЪКОВОДИТЕЛ:
доц.д-р Димитър Кехайов

Пловдив, 2024

Изследванията са проведени през периода 2020 – 2023 г. в лабораториите на катедра Механизация на земеделието при Аграрен университет-Пловдив и земеделски стопанства в района на гр.Пазарджик.

Дисертацията е написана на 114 страници и съдържа 16 таблици, 22 фигури, 51 формули. Цитираната литература включва 112 източника, от които 87 – на кирилица и 25 – на латиница.

Дисертационният труд е обсъден и насочен за защита от катедрения съвет на катедра “Механизация на земеделието” към Факултета по Лозаро-градинарство при Аграрен университет – Пловдив

Защитата на дисертацията ще се състои на г. от 11.30 часа във 2-а зала на катедра Механизация на земеделието в АУ – Пловдив пред Специализирано научно жури, утвърдено със Заповед на Ректора № РД-16-366 от дата 12.03.2024 г., в състав:

Вътрешни членове:
доц.д-р Манол Ангелов Даллев

Външни членове:
проф.д-р Борислав Георгиев Ангелов
проф.д-р Георги Димитров Костадинов
доц.д-р Атанас Здравков Атанасов
доц.д-р Галин Илиев Тиханов

Материалите по защитата са на разположение на интересувашите се в библиотеката на аграрен университет – Пловдив, бул. „Менделеев“ № 12.

I. УВОД

Сеитбената норма е оптималния брой на семена, които се засяват на единица площ. За производителността влияние оказва и дълбочината на посева. Ако се сеят семената на по-малка дълбочина, растенията се развиват бавно особено в началото. Факт е, че горния слой на почвата изсъхва, кореновата система се развива по-бавно, корените стават слаби и по-лошо се задържат растенията в почвата. Когато дълбочината на семената е неравномерна, тогава израстването и развитието на растенията също е неравномерно. В резултат на това, растенията с по-високи стъбла ще пречат на тези, които са по-слаби и ниски. И това ще доведе до намаляване на добива.

Засяването трябва да се извършва в почвата, която е с оптимална температура и влажност и през най-добрия агротехнически срок като се има предвид, че сеялката и трактора работят неефективно при преовлажнени почви.

За обект на изследването е подходящо да се подбере едно от най-разпространите технически средства у нас за осигуряване на процеса на сеитба със зъбен (щифтов) сеещ апарат, а именно редосеялка Саксония А200.

В съответствие с това за предмет на изследването са взети съществени характеристики на семена, техника и процесът на изсяване на семената.

Това може да се постигне чрез съответно теоретико-експериментално изследване, с прилагане методите за планиране на експеримента, вариационен, регресионен и дисперсионен анализи.

За място на изследването са подбрани звена с условия близки до нашето аграрно производство, оборудвани с необходимата техника и измервателни средства – в случая научните лаборатории на Аграрен университет – Пловдив.

II. ЦЕЛ И ЗАДАЧИ

Цел на изследването е да се разработи системата за безстепенно регулиране на сеитбената норма при сеялки за култури със “слята повърхност”.

Задачи на изследването:

1. Определяне на теоретичните преподставки за безстепенно регулиране и поддържане на сеитбената норма за пшеница при променливи условия на работа;
2. Определяне на необходимата мощност за задвижване на сеещите апарати на сеялка Saxonia A200;
3. Определяне на изсяваното количество семена от пшеница за един оборот на зъбен (щифтов) сеещ апарат;
4. Определяне на функционалната връзката между предавателното число в предавателния механизъм, плътността на семената и количеството изсявани семена;
5. Разработване на вариант на електронна система за управление на сеитбената норма при редосеялка Saxonia A200;
6. Определяне приведените експлоатационни разходи в зависимост от използвания в редосеялката предавателен механизъм (механичен или електронен) при извършване на сеитба на зърнено-житни със “слята повърхност”.

III. ОБЩА МЕТОДИКА НА ИЗСЛЕДВАНЕТО

III.1. Определяне на необходимата мощност за задвижване на сеещите апарати на сеялка Saxonia A200

Задвижването на сеещите апарати се осъществява от опорното колело на сеялката, през система от верижни и зъбни предавки. Последното стъпало в предавателната система е верижна предавка.

Известно е, че мощността е произведението от въртящия момент и ъгловата скорост.

Ъгловата скорост на вала на сеещите апарати може да се представи като произведение от ъгловата скорост на опорното колело и предавателното отношение в предавателния механизъм на сеялката. Ъгловата скорост на опорното колело се определя като се използва формулата за периферната скорост (работната скорост на сеялката).

$$V_p = \omega \cdot R \quad (1)$$

Според някои автори при сеитба на зърнено-житни култури със „слята“ повърхност препоръчителната работна скорост е от 7 до 12 km/h.

Когато скоростта на сеитба на зимна пшеница бъде увеличена, равномерността на внасяне на семена се намалява поради промяната на устойчивостта на ботуша. При по-големи скорости и особено когато се срещне препятствие ботушите се издигат и семената се разпръскват върху почвената повърхност или се въвеждат в различни почвени слоеве.

Проведени са опити за директна сеитба при скорости от 8 до 16 km/h с различни ботуши. Резултатите от този полски експеримент подчертават проблемите с no-till технологиите и осигуряване на атрактивно решение за по-големи скорости на работа при сеитба. Необходими са допълнителни проучвания за оптимизиране на конструктивните параметри на ботушите.

Доказано е, че при no-till сеитба на житни култури съществува безпрецедентна възможност за увеличаване на работните скорости с 50% без това да се отразява на поникването или добивите. Това увеличаване на работната скорост може да подобри практиките на засяване в промишлеността чрез:

- (1) навременност на сеитбата, следователно увеличаване на потенциала за добив на зърно,
- (2) намаляване на общото време на сеитба за сезон или намаляване на необходимото работно време на ден за фермера;
- (3) потенциал за намаляване на ширината на машината за да се минимизират инвестиционните разходи, като същевременно се запази подобна скорост на работа.

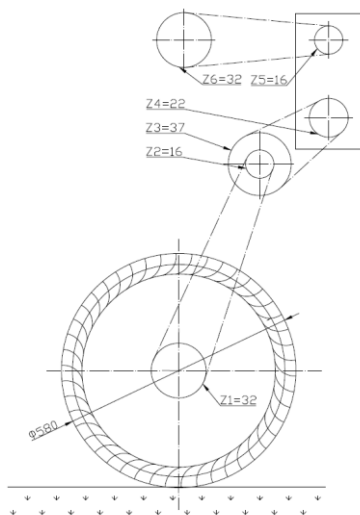
В настоящата работа се работи с скорост 12 km/h (3,33 m/s).

Радиусът на опорното колело на сеялка Saxonia A200 е 0,58 m.

Решавайки уравнение 1 спрямо ъгловата скорост се получава

$$\omega = \frac{V_p}{R} \quad (2)$$

Предавателното отношение се представя като произведение от предавателните отношения на всяка зъбна и верижна предавки в предавателния механизъм на редосеялката. В предавателния механизъм на сеялка Saxonia A200 участват 3 верижни предавки и един многостъпален зъбен редуктор.



Фиг.1 Предавателен механизъм на сеялка Saxonia A200

Предавателното отношение на верижните предавки се определя като делимо от броя зъби на водимото спрямо броя зъби на водещото зъбни козела.

$$i_{vi} = \frac{z_2}{z_1} \quad (3)$$

Предавателното отношение на редуктора се определя като частно на броя обороти на вхофания вал за 1 оборот на изходящия му вал.

$$i_p = \frac{n_{вх}}{n_{из}} \quad (4)$$

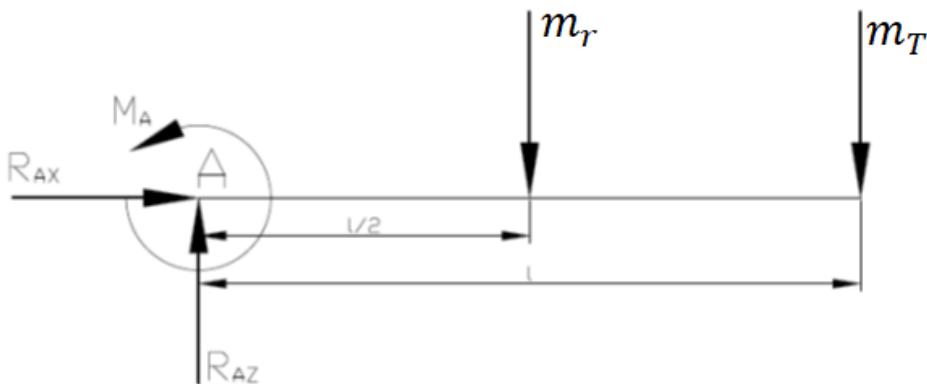
Общото предавателно отношение е произведение от предавателните отношения на всяка предавка

$$i_{пм} = i_{в1} \cdot i_{в2} \cdot i_p \cdot i_{в3} \quad (5)$$

За завъртане на задвижващи вал е необходимо да се приложи въртящ момент, равен и с противоположна посока на съпротивителния момент, породен от силите на триене в лагерните тела и между сеещите апарати и семената. За определяне на този момент се сваля веригата, а след това от задвижващия вал на сеещите апарати се демонтира зъбното колело. На негово място се монтира рамо с дължина 0,615 m. В края на рамото се поставят една след друга тежести, докато валът се завърти. Въртящият момент е съставен от 2 компоненти – първата е моментът получен от въздействието на теглилките, а втората – моментът създаден

от масата на рамото. Масата на рамото може да се разглежда като равномерно разпреден товар. Нейният момент е произведението ѝ и половината от дължината на рамото.

Моментът се определя с помощта на следващата фигура 2



Фиг.2

Моментът е:

$$M = 9,81 \cdot \left(m_r \cdot \frac{l}{2} + m_T \cdot l \right) \quad (6)$$

Броят на повторенията при измерване на величините: тегло на рамото, тегло на тежестите и предавателно отношение в редуктора се определя при ниво на значимост $\alpha=0,05$ и относителна грешка $\delta=5\%$ съгласно препоръките на авторите.

Получените резултати от измерванията за всяка величина се осредняват и с тези стойности се замества в изброените по-горе формули за получаване на търсената мощност.

III.2. Определяне на функционалната връзка между плътността на семената и изсяваното количество (изсявания обем) за един оборот на зъбен (щифтов) сеещ апарат

Необходимите опити се извършват в лабораторни условия, в катедра „Механизация на земеделието“ при АУ-Пловдив, със сеялка Saxonia 200A. Щибърът на наблюдавания сеещ апарат е поставен в положение - средно, подвижното дъно – в положение 1.

Задвижването на сеещите апарати се осигурява от предавателна система, състояща се от 3 верижни предавки и зъбен редуктор, позволяващ 72 предавателни отношения. Движението от дясното ходово колело през предавателната система се подава към сеещите апарати.

В настоящото изследване на случаен принцип се избират 6 от възможните предавки в зъбния редуктор. Движението от дясното ходово колело през предавателната система се подава към сеещите апарати.

На водещото колело от втората верижна предавка се монтира манивела. За всяка от избраните предавки в зъбния редуктор се определя предавателното отношение в предавателната система като се отчитат броя на оборотите на манивелата, при които валът на сеещите апарати извършва 1 пълно завъртане.

Преди всеки опит семенната кутия за семена се запълва. С манивелата се извършват 10 оборота с цел да се изнесат семената намиращи се в сеещия апарат. След това с манивелата се извършват 42 оборота. Изсетите от наблюдавания сеещ апарат семената се събират и претеглят на везната.

Броят на повторенията се определя при ниво на значимост $\alpha=0,05$ и относителна грешка $\delta=5\%$ съгласно препоръките на авторите, а получените резултати се осредняват.

Получените от проведените измервания данни са отразяват в таблици.

Количеството семена, изсяти за 1 оборот на сеещия апарат y се определят като се раздели произведението от количеството семена изсети за 42 оборота на манивелата x и оборотите на манивелата, необходими за 1 оборот на сеещия апарат n_{1ca} на 42:

$$y = \frac{x \cdot n_{1ca}}{42} \quad (7)$$

Представено в разгърнат вид количеството семена изсети за 1 оборот е:

$$y = \rho \cdot V_0 \quad (8)$$

Обемът, изсяван за 1 оборот на сеещия апарат, се получава като количеството изсети семена се раздели на плътността на изсявания материал:

$$V_0 = \frac{y}{\rho} \quad (9)$$

III.3. Определяне на функционалната връзката между предавателното отношение в предавателния механизъм, плътността на семената и количеството изсявани семена

За решаване на тази задача се провежда експеримент по план В₂ в учебните лаборатории на катедра „Механизация на земеделието“ при АУ-Пловдив.

Независимите променливи (фактори) в настоящия случай са: плътността на изсявания материал и предавателното отношение (скоростта на въртене на сеещия апарат). Всеки от двата фактора се променя на три нива.

За плътността са подбрани семенни материали с насипно тегло 250, 537 и 825 kg/m³.

По отношение на другия фактор, предавателно отношение, то се определя по следния начин: В прегледа на справочна литература не се откриха данни какво е предавателното отношение при различните предавки в редуктора. По тази причина се извършват опити за тяхното установяване. Редукторът има входящ и изходящ валове. На всеки от тях е закрепено верижно зъбно колело. Маркира се с маркер най-високата част от всяко зъбно колело и срещу тях върху стената на редуктора с маркера се поставя белег. В цялата предавателна система единствено това предавателно отношение може да бъде променяно и то скокообразно.

На челната стена на редуктора има 3 ръкохватки, с които могат да се превключват различните предавки, а от там да се реализират различни предавателни отношения. Най-ниската предавка (най-голямо предавателно отношение) е 111, а най-високата – 634. Остава да се уточни третата (средната) точка в плана на експеримента по отношение на предавателното отношение. Тя трябва да е еднакво отдалечена от двете посочени горе.

За всяка предавка с манивелата се завърта редуктора като се отчитат оборотите на входящия вал, необходими за 1 оборот на изходящия. Броят на повторенията се определя при ниво на значимост $\alpha=0,05$ и относителна грешка $\delta=5\%$ съгласно препоръките на авторите. Получените от всеки опит резултати се осредняват. С получените числа се определя предавателното отношение в редуктора за всяка от предавките, съгласно формула 4.

Преди всеки опит кутия за семена се запълва. С манивелата се извършват 20 оборота с цел да се изнесат семената намиращи се в сеещия апарат от предходния опит и едва тогава се извършват 42 оборота, което отговаря на 1/10 от сеитбената норма. Изсетите семената се събират и претеглят на везната.

За улеснение при провеждане на опита първо се работи с едната култура (плътност) и се определя изсятото количество семена при различните предавки, след това - с втората култура и на края – с третата.

За всяка точка от плана на експеримента операцията се повтаря по 3 пъти. Получените данни се осредняват и с тях се провеждат факторен и регресионен анализи.

С факторния анализ се установява влиянието на всеки от факторите върху изменението на изсятото количество.

С регресионния анализ се уточнява функционалната връзка между факторите и наблюдавания показател. Полученото регресионно уравнение се онагледява графично с регресионна повърхнина и линии на еднакъв отклик с помощта на програмен продукт Statistika v.7.

III.4. Определяне приведените експлоатационни разходи в зависимост от използвания в редосеялката предавателен механизъм при извършване на сеитба на зърнено-житни със “слята повърхност”.

Всеки машинно-тракторен агрегат (МТА) може да се представи като съставен от енергетично средство (трактор) и работна машина (редосеялка). Редосеялката може да бъде изградена с вариаторно, с редукторно или с електро-механично (мехатронно) задвижване на сеещите апарати. При трите варианта тракторът е с една и съща цена. В резултат на това разликата в цената на МТА се определя единствено от цената на вградените в редосеялката предавателен механизъм.

Като базови в настоящата работа се използват трактор MF4708M и сеялка аналог на Saxonia A200, с работна широчина 3 m. Задвижването на сеещите апарати се осъществява от ходовото колело посредством вариатор. При втория вариант има възможност за замяна на вариатора със 32-степенен зъбен редуктор. При третия вариант мехатронната система за задвижване на сеещите апарати включва контролер, честотен регулатор, оборотомер и постояннооток двигател.

Цената на редосеялката и вариатора в първия вариант се вземат от дистрибутора. При втория и третия варианти от цената на сеяката се изваждат цената на вариатора. Към получената стойност се прибавя цената на зъбния редуктор/отделните елементи, изграждащи „електронния предавателен механизъм“, като по този начин се получава цената на сеяката в тези два варианта.

Цената на целия МТА се формира като сума от цената на трактора и цената на сеялката.

От е установено, че оптималния агротехнически срок за сеитба на пшеница и счемик е от 20.IX. до 15.XI. Удължаването на срока на сеитба води до намаляване на добивите. Като календарна продължителност оптималния агротехнически срок е в рамките на 25 дни, през които се използва МТА. При неблагоприятни агрометеорологични показатели този срок може да се удължи до 40-60 дни.

Основен икономически показател, за оценяване на трите варианта са приведените експлоатационни разходи. Това е отношението между експлоатационните разходи за всеки сеитбен агрегат и неговата производителност.

В експлоатационните разходи се включват: амортизационни отчисления, отчисления за текущ ремонт и поддръжка, разходи за съхранение, ФРЗ, ГСМ, разходи за смяна на гуми и др. Целта е тези разходи да се минимизират. Математически задачата се записва в следния вид:

$$EP \rightarrow \min \quad (10)$$

където:

$$EP = \Phi P3 + AO + TPП + ГСМ + PГ \quad (11)$$

ФРЗ – ФОНД РАБОТНА ЗАПЛАТА.

Фонд работна заплата на тракториста и спомагателните работници се вземат от тарифните ставки за работа при осем и половина часов работен ден. При това е необходимо да се отчетат надбавките за стаж, за клас, отчисленията за отпуск и социалните осигуровки. Съгласно Наредбата за категоризиране на труда при пенсиониране (НКТП), трудът на механизаторите и спомагателните работници в земеделието е от III категория. Общият размер осигуровки, които работодателят е задължен да внася за този труд е 18,52% от осигурителния доход,

За установяване на ФРЗ за механизатора (тракториста) и спомагателния работник се провежда анкета в различни по големина земеделски стопанства в Пазарджишка област за уточняване на тяхното заплащане при обслужване на сеитбения агрегат.

ФРЗ се изчислява по зависимост 12.

$$\Phi P3 = (C_m + C_{cp}).(1 + ДОО).D_n \quad (12)$$

ГСМ - РАЗХОДИ ЗА ГОРИВО-СМАЗОЧНИТЕ МАТЕРИАЛИ

Определят се, изхождайки от разхода на основно гориво и неговата комплексна цена. Комплексната цена е стойността на 1 kg гориво и съответните количества смазочни материали, изчислени в процент към основното гориво. За целта, от основни информационни източници, базирани в Internet се уточнява цената на 1 литър дизелово гориво. Тази цена се умножава по 1,2, за да се получи цената на 1 kg гориво. Полученото число се умножава с 1,06, с което се отчита участието в комплексната цена на моторното и трансмисионното масла.

Комплексната цена на горивото ще определим по зависимостта:

$$KG = 1,2 \cdot 1,06 \cdot ЦГ \quad (13)$$

Разходите за ГСМ се определят като се знае обема на работата, нормативния разход гориво за единица работа и комплексната цена на горивото. Имайки пред вид казаното разходите за ГСМ са:

$$ГСМ = 1,272 \cdot ЦГ \cdot Н_r \cdot U \quad (14)$$

АО - ОТЧИСЛЕНИЯ ЗА ВЪЗСТАНОВЯВАНЕ И ОСНОВЕН РЕМОНТ

Тези разходи се определят от балансовата стойност на машината, нормативния процент отчисления за основен ремонт и амортизации.

За различните марки трактори и селскостопански машини процентът отчисления за основен ремонт и възстановяване е различен. Взаема се от нормативните документи на стопанство, министерство или други инстанции.

В частните стопанства собствениците сами могат да определят срока за използване на дадена машина, респективно и процентът отчисления за нейния основен ремонт и възстановяване. Най-често тези срокове за трактора са 10 години, а за селскостопанските машини – 5 години. По тази причина коефициентът **Кв** за трактора е 10, а за ССМ – 20%.

Отчитайки почивните и празничните дни в нашата страна може да се каже, че с трактора се работи около 240 дни в годината, докато сеялката се използва само през сеитбената кампания, която продължава около 40 дни.

При определяне на експлоатационните разходи на сеитбения агрегат в тях ще се включи целият обем на отчисленията за амортизации и основен ремонт на сеялката и частта от тези отчисления за трактора, отговаряща на 40 дни работа.

Следвайки тези предпоставки отчисленията за възстановяване и основен ремонт се изчисляват по следната формула:

$$АО = \frac{Ц_{Т \cdot К_{ВТ} \cdot 40}{100 \cdot 240} + \frac{Ц_{М \cdot К_{ВМ}}}{100} \quad (15)$$

ТРП - РАЗХОДИТЕ ЗА ТЕКУЩ РЕМОНТ И ТЕХНИЧЕСКИ ПРЕГЛЕДИ

Определят се от балансовата стойност на машините, процентът отчисления за текущ ремонт и поддръжка. Отчисленията за текущ ремонт и поддръжка се изчисляват по следната зависимост:

$$ТРП = \frac{Ц_{Т \cdot К_{ТРП} \cdot 40}{100 \cdot 240} + \frac{Ц_{М \cdot К_{ТРМ}}}{100} \quad (16)$$

Казаното по-горе за отчисленията за амортизации и основен ремонт в пълна сила важи при определянето на разходите за текущ ремонт и поддръжка. При определянето им в тях ще се включи целият обем на отчисленията за текущ ремонт и поддръжка на сеялката и частта от тези отчисления за трактора, отговаряща на 40 дни работа.

Процентът отчисления за текущ ремонт и поддръжка се взема от нормативните документи

РГ - РАЗХОДИ ЗА ГУМИ

Обикновено срокът за износване на гумите при тракторите е около 2 години. Сеялката през годината работи около 40 дни. При срок за използване и откупуване 5 години с нея ще се работи общо 200 дни, което дава възможност нейните гуми да не бъдат сменяни до края на срока на служба.

Като се има това в предвид може да се определят разходите за подмяна на гумите по следната зависимост:

$$РГ = \frac{\Gamma_{\Pi}}{2} \quad (17)$$

Заместавки с формули от 12 до 17 в зависимост 11 се получава следното уравнение:

$$EP = (C_m + C_{cp}) \cdot (1 + DOO) \cdot D_H + \frac{\Pi_T}{600} \cdot (K_{BT} + K_{TT}) + \frac{\Pi_M}{100} \cdot (K_{BM} + K_{TM}) + \frac{\Gamma_{\Pi}}{2} + 1,272 \cdot \Pi_{Г} \cdot U \quad (18)$$

За определяне на приведените експлоатационни разходи сумата от формула 18 се разделя на произведението от броя дни, през които работи сеитбения агрегат (40 дни) и дневната производителността. При така направените полагания приведените експлоатационни разходи се определят по зависимостта:

$$ПЕР = \frac{(C_m + C_{cp}) \cdot (1 + DOO) \cdot D_H + \frac{\Pi_T}{600} \cdot (K_{BT} + K_{TT}) + \frac{\Pi_M}{100} \cdot (K_{BM} + K_{TM}) + \frac{\Gamma_{\Pi}}{2} + 1,272 \cdot \Pi_{Г} \cdot U}{40 \cdot D_H} \quad (19)$$

IV. ТЕОРЕТИЧНО ОБОСНОВАВАНЕ НА БЕЗСТЕПЕННОТО УПРАВЛЕНИЕ НА СИТБЕНАТА НОРМА

По време на работа сеитбеният агрегат, движещ се със скорост V (km/h), обработва площ, равна на произведението от скоростта и работната ширина на агрегата. Количеството семе, което се засява върху тази площ за 1 час е произведение от площта и сеитбената норма. Количеството семена, засявани за 1 min се определя като частно на количеството семе засявано за 1 h разделено на 60. В математичен вид горните разсъждения са представени на следните зависимости:

$$\text{обработена за 1 h площ } S_1 = V_p \cdot B_p, dka \quad (20)$$

$$\text{количество семе, засято за 1 h } Q_m = S_1 \cdot Q = V_p \cdot B_p \cdot Q, kg \quad (21)$$

$$\text{количество семе, засято за 1 min } Q_{1min} = \frac{S_1 \cdot Q}{60} = \frac{V_p \cdot B_p \cdot Q}{60}, kg/min \quad (22)$$

В по-старите редосеялки за завъртане на сеещите апарати движението се взема от ходовите колела, преминава през система от верижни и зъбни предавки и се предава на задвижващия вал. В следствие на това скоростта им на въртене е в пряка връзка с постъпателната (работната) скорост на агрегата. Последната може да се представи като произведение от ъгловата скорост на ходовото колело ω и неговия радиус R . От литературата е известно, че между ъгловата скорост на ходовото колело и неговата скорост на въртене съществува пряка връзка, което може да се представи със следните математически зависимости:

$$\text{за постъпателната скорост } V_p = 3,6 \cdot \omega \cdot R, km/h \quad (23)$$

$$\text{за ъгловата скорост } \omega = \frac{\pi \cdot n}{30}, rad^{-1} \quad (24)$$

Може в уравнение 23 значението на ъгловата скорост да се замести с това от израза 24. Получава се нова зависимост, която е необходимо да бъде рационализирана. След извършване на необходимите математически действия израза за работната скорост ще придобие вида:

$$V_p = 0,12 \cdot \pi \cdot n \cdot R \quad (25)$$

При известни работна скорост (може да бъде взета от бордовия компютър на използвания трактор) и радиус на ходовото колело, неговата скоростта на въртене се получава от израза 26:

$$n = \frac{V_p}{0,12 \cdot \pi \cdot R}, tr \quad (26)$$

Обикновено движението се предава от ходовото колело към задвижващия вал на сеещите апарати посредством предавателен механизъм, чиято главна характеристика е предавателното му отношение i . Скоростта на въртене на сеещите апарати е произведението от скоростта на въртене на задвижващото колело на сеялката и предавателното отношение.

$$n_{CA} = n \cdot i = \frac{V_p}{0,12 \cdot \pi \cdot R} \cdot i \quad (27)$$

По време на работа сеещите апарати извършват въртеливо движение, с всеки свой шифт (зъб) захващат определен обем семена и ги избутват извън зоната на бункера. Нека обема семена, които изнася 1 сеещ апарат за 1 оборот означим с q_1 . Масата на семената, изнесени за 1 оборот на сеещия апарат, е произведението от техния обем и плътността им γ , kg/m^3 .

$$Q_{CA} = q_1 \cdot \gamma, kg \quad (28)$$

Във всяка сеялка има вградени m на брой сеещи апарати. Общото количество семена $Q_{1Б}$, които се изнасят от бункера за един оборот на задвижващия вал на сеещите апарати е произведението от техния брой и количеството семена, изнесени за 1 оборот от един сеещ апарат

$$Q_{1Б} = Q_{CA} \cdot m = q_1 \cdot \gamma \cdot m \quad (29)$$

Количеството семена, изнесени от бункера на сеялката за 1 min, се поучава като произведение от скоростта на въртене на сеещите апарати и общото количество семена, които се изнасят от бункера за един оборот на задвижващия им вал. За получаване на математическия израз на това количество семена се използват десните страни на уравнения (27) и (29). Полученото ново уравнение придобива вида:

$$Q_{1m} = Q_{CA} \cdot m \cdot n_{CA} = q_1 \cdot \gamma \cdot m \cdot \frac{V_p}{0.12 \cdot \pi \cdot R} \cdot i \quad (30)$$

Зависимост (22) дава количеството семена, изнесени от бункера на сеялката за 1 min, изразени с експлоатационни параметри на сеитбения агрегат. От своя страна със зависимост (30) също се определя количеството семена, изнесени от бункера на сеялката за 1 min, но изразени с технологични параметри на използваните семена и конструктивни параметри на сеялката. За да работи сеялката правилно десните страни на двете уравнения трябва да са равни. Изхождайки от тази предпоставка може да се състави ново равенство, което има вида:

$$\frac{(V_p \cdot B_p \cdot Q)}{60} = q_1 \cdot \gamma \cdot m \cdot \frac{V_p}{0.12 \cdot \pi \cdot R} \cdot i \quad (31)$$

Работната широчина може да се представи като произведение от броя на сеещите апарат (респективно ботушите) и големината на междуредието **b**. Равенство (31) няма да се промени ако от лявата и дясната му част се елиминират работната скорост и броят на сеещите апарати. След тези преобразования равенството може да се реши спрямо сеитбената норма:

$$Q = \frac{159,236 \cdot q_1 \cdot \gamma}{b \cdot R} \cdot i \quad (32)$$

В уравнение (32) междуредието, при което се засяват семената, радиуса на задвижващото колело, количеството семена, които изнася 1 сеещ апарат за 1 оборот, както и тяхната плътност са постоянни величини. От казаното до тук следва, че сеитбената норма може да се разглежда като функция на 1 променлива, а именно – на предавателното отношение.

Горното съждение се отнася само за сеялки, при които задвижването на сеещите апарати се осъществява от ходовото колело, посредством механичен предавателен механизъм.

При самостоятелно, несинхронно задвижване на сеещите апарати, за 1 оборот на задвижващия вал всеки апарат изнася от бункера на сеялката определено количество q_{06} [kg] семена. Тъй като на всяка сеялка са монтирани m на брой сеещи апарати, то количеството семена изнасяни за 1 оборот на задвижващия вал може да се определи с израза:

$$Q_{06} = q_{06} \cdot m, \text{ kg/об} \quad (33)$$

Оборотите на задвижващия вал (сеещите апарати) са n_{CA} [min⁻¹]. Като се умножи количеството семена, изнасяни за 1 оборот на задвижващия вал по тази скорост се получава количеството семена, изнасявани за 1 min от цялата сеялка:

$$Q_{1m} = Q_{06} \cdot n_{CA}, \text{ kg/min} \quad (34)$$

Лявата част на формулите 22 и 34 е една и съща, от което следва че десните им части са равни.

$$\frac{B_p \cdot V_p \cdot Q}{60} = Q_{06} \cdot n_{CA} \quad (35)$$

Известно е, че работната широчина е произведение от междуредието и броя на ботушите (респективно на сеещите апарати).

$$B_p = m \cdot b, m \quad (36)$$

Като се замести с формули 34 и 36 във формула 35 и се рационализира новият израз се получава

$$b \cdot V_p \cdot Q = 60 \cdot q_{06} \cdot n_{CA}, \quad (37)$$

В горното уравнение скоростта може да се замести с формула 25, от където следва

$$b \cdot 0,12 \cdot \pi \cdot n \cdot R \cdot Q = 60 \cdot q_{06} \cdot n_{CA} \quad (38)$$

Изразът 38 може да се рационализира и след преобразованието ще добие вида

$$b \cdot n \cdot R \cdot Q = 159,236 \cdot q_{06} \cdot n_{CA} \quad (39)$$

Съгласно зависимост 27 скоростта на въртене на вала на сеещите апарати може да се представи като произведение на скоростта на въртене на ходовото колело и предавателното число. След заместване и рационализиране в горния израз се получава

$$b \cdot R \cdot Q = 159,236 \cdot q_{06} \cdot i \quad (40)$$

Анализирайки уравнение 39 се вижда, че междуредовото разстояние и радиусът на ходовото колело на редосеялката са постоянни величини. Същото може да се каже и за количеството семена, които ще се изсеят за един оборот на сеещия апарат. Тази стойност може да се получи по експериментален път. Единственото, което е необходимо да се промени за реализиране на различни сеитбени норми за една и съща култура е предавателното число, независимо от изменението на скоростта на агрегата.

$$i = \frac{b \cdot R \cdot Q}{159,236 \cdot q_{06}} \quad (41)$$

Следвайки логиката на гореказаното и като се вземат пред вид експлоатационните параметри на сеялката Saxonia 200A формула 41 се променя

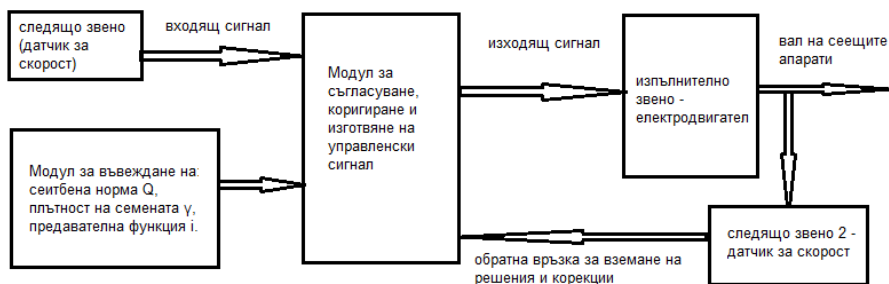
$$i = \frac{Q}{4575,74 \cdot q_{06}} \quad (42)$$

Формула 42 се явява предавателната функция на системата, управляваща и поддържаща процеса на засяване на семена при сеялката Saxonia 200A. В нея

променливи са сеитбената норма и количество семена $q_{об}$, които се изсяват за 1 оборот на сеещия апарат, което е в пряка зависимост от плътността и обема им.

Сравнително точно това количество може да бъде определено по експериментален път, както ще бъде разгледано в раздел V.2.

За да се премине към безстепенно регулиране на сеитбената норма трябва да се реализира следната или подобна на нея мехатронна блок-схема:



Фиг.3 Блок-схема на системата за безстепенно регулиране на сеитбената норма

При изграждането на системата могат да се използват различни електрически и електронни компоненти. По-голяма конкретика ще бъде дадена в следващите няколко стъпки.

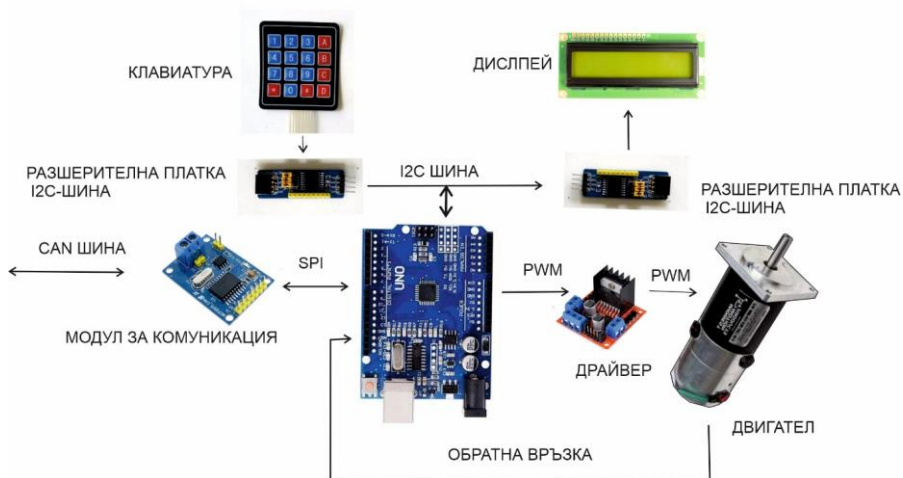
Захранването на цялата система ще се осигури от батерията на трактора.

Ще разгледаме 2 основни възможности по отношение на задвижването на сеещите апарати - може да се осъществи с постоянен ток или асинхронен двигател.

Втори важен момент е от къде ще бъде взет сигнала за работната скорост на агрегата. Първата възможност е този сигнал да бъде снет от компютъра на трактора. Всички съвременни трактори са оборудвани с компютър за управление на процесите. Вторият вариант е този сигнал да се получава от специален датчик, монтиран към ходовата система на трактора или машината. Неудобството при това е, че агрегатът работи в доста променлива среда, с много вибрации, запрашаване и др., които затрудняват, а много случаи и пречат за нормалната работа на датчика. По тази причина приемаме, че сигналът за постъпателната скорост се взема от бордовия компютър на трактора.

IV.1. Мехатронна система с постоянен ток двигател за задвижване на вала на сеещите апарати

Следвайки логиката на блок-схемата от фиг.3 конфигурацията на мехатронна система с използването на постоянен ток двигател ще има вида представен на следващата фигура (фиг.4).



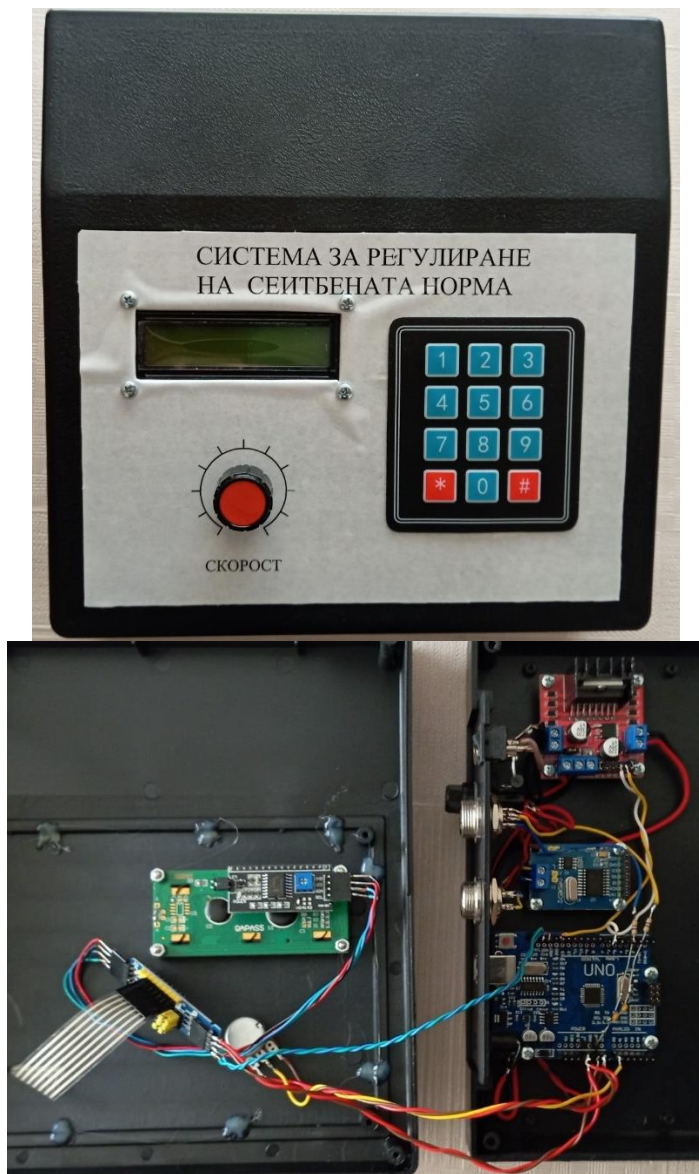
Фиг.4 Устройство на мехатронната система за регулиране на посевната норма с постояннотоков двигател

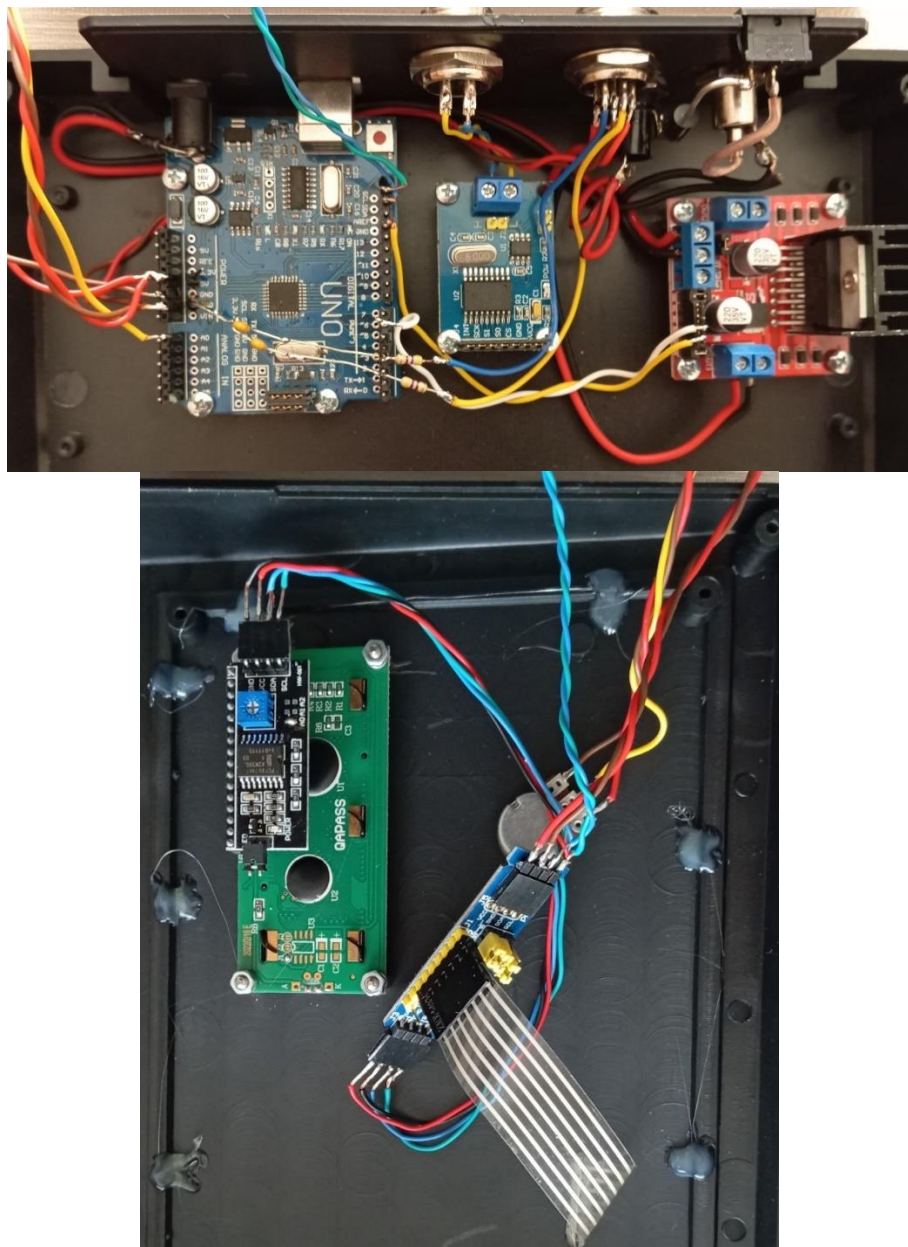
В настоящата работа се избира работно напрежение от 12 V, което се осигурява от акумулатора на трактора в агрегата или бордовата електрическа система.

Информацията за определяне на скоростта на сеитбения агрегат се подава от бордовия компютър на трактора през CAN Bus Module към микропроцесора (микрокомпютър) Arduino (фиг.4). Доказано е, че разработването на софтуерни и хардуерни системи за автоматизация и управление с мехатронен подход може да се базира на микропроцесора Arduino. Това е инструмент за разработване на устройства, които взаимодействат с физическата среда. Представява отворена хардуерна и софтуерна платформа за работа с физически обекти. Arduino е платка с микроконтролер и среда за създаване на софтуер. Платформата има вградени елементи за програмиране и интеграция с други устройства и схеми. Arduino улеснява работата с микроконтролери и предоставя следните предимства: ниска цена, крос-платформа, използване на допълнителни модули за автоматизация, контрол и управление на различни физически процеси и функции. Данните за големината на междуредието, посевната норма, плътността на семената, предавателната функция (предавателното отношение) се въвеждат от клавиатурата и по I2C шина постъпват в микропроцесора. Към същата шина се свързва и дисплей, който визуализира въведените данни.

На база на входните данни се създава управляващ сигнал (PWM), който чрез електронен модул (Driver), комутиращ по-голям ток, задвижва DC двигателя. Двигателят има вграден енкодер или тахогенератор, който връща информация към микропроцесора, за да се направят необходимите настройки и корекции за поддържане на необходимите обороти на вала на сеешите апарати.

Във физически вид, разработената система за управление и безстепенно регулиране на сеитбената норма е представена на фиг.5.





Фиг.5 Система за регулиране на сеитбената норма с DC двигател

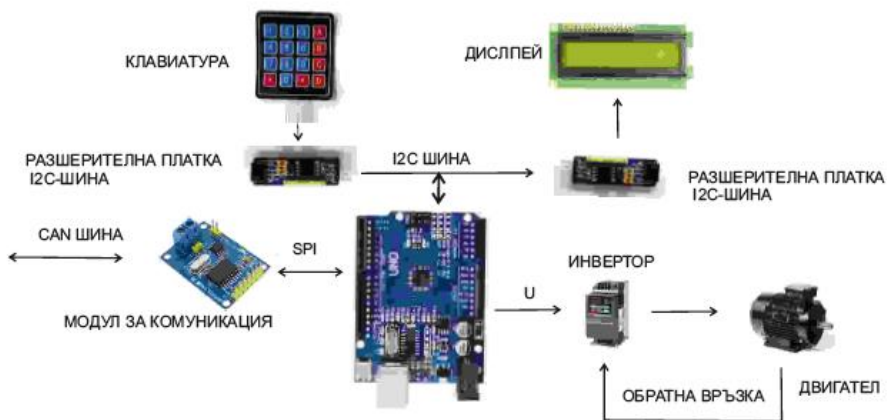
IV.2. Мехатронна система с променливотоков двигател за задвижване на вала на сеещите апарати

Захранването на мехатронната система е с работно напрежение от 12V, което се осигурява от акумулатора на трактора в агрегата или бордовата електрическа система.

Системата много наподобява на тази разгледана в т.3.1. Разликата е, че тук се използва променливотоков двигател (220 V). За неговото задвижване в системата се включва инвертор, който от 12V захранва с 220V и управлява променливотоковия двигател. Като пример за такъв може да се използва инвертор на напрежение PNI, L1200 W, входящо 12V, изходящо 230 V.

Също както в мехатронната система с постояннотоков двигател, разгледана в т.3.1, променливотоковия двигател има вграден енкодер или тахогенератор, който връща информация към микропроцесора, за да се направят необходимите настройки и корекции за поддържане на необходимите обороти на вала на сеещите апарати.

Конфигурацията на мехатронна система с използването на променливотоков двигател ще има вида представен на следващата фиг.6.



Фиг.6 Устройство на мехатронната система за регулиране и поддържане на посевната норма с асинхронен двигател

Техническите характеристики на използваните за изграждане на мехатронната система компоненти са отразени в приложенията в края на настоящата работа.

IV.3. Изводи

1. Намерена е предавателната функция, необходима за задаване и поддържане на сеитбената норма при работа със сеялка Saxonia 200A. Тя е в

пряка зависимост от сеитбената норма и количеството семена, изсявано за 1 оборот на сеещия апарат.

2. За да се премине към безстепенно регулиране на сеитбената норма се реализира мехатронна система, захранвана от батерията на трактора. Възможно е задвижването на сеещите апарати да се осъществи с постоянно- или променливотоков двигател.

3. Мехатронната система е така разработена, че сигналът за работната скорост на агрегата се взема от компютъра на трактора.

4. При използване на постоянноотоков електродвигател мехатронната система се изгражда на база на микропроцесора (микрокомпютър) Arduino. Изпълнителното звено е DC двигател (променливотоков двигател) с вграден енкoder или тахогенератор, който връща информация към микропроцесора, за да се направят необходимите настройки и корекции за поддържане на необходимите обороти на вала на сеещите апарати.

V. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ

V.1. Определяне на необходимата мощност за задвижване на сеещите апарати на сеялка Saxonia A200

Необходимата мощност се определя, като се използват зависимостите в раздел III. Обща методика на изследването, т. III.1.

Броят на повторенията за масата на рамото, масата на тежестите и предавателното отношение в редуктора се определя въз основа на приетата методика. За всеки от следените показатели са извършени по 3 измервания, след което са определени средната стойност, дисперсията и коефициентът на вариация. Данните от тези измервания и статистическата им обработка са отразени в табл.1.

Табл.1. Резултати от предварителните опити

Следени показатели	Резултати от опитите			Резултати от стат.анализ		
	1	2	3	$\bar{x}$	σ	$v, \%$
Маса на рамото, kg	0,122	0,121	0,122	0,1217	3,33E-07	0,47
Маса на тежестите, kg	0,295	0,290	0,295	0,2933	8,33E-06	0,98
Предав. отношение (634)	2	2	2	2	0	0

С получените стойности за коефициента на вариация се определят броя на повторенията при ниво на значимост $\alpha=0,05$ и относителна грешка $\delta=5\%$. За съответните показатели те са:

- маса на рамото – 2;
- маса на тежестите – 2;
- предавателно отношение – 1.

За по-голяма достоверност на следващите резултати се приема броят на повторенията при определяне на тези показатели да е 5. След извършване на окончателните измервания се получиха следните резултати, отразени в табл.2.

Табл.2. Стойности на следените показатели

Следени показатели	Резултати от опитите					
	1	2	3	4	5	$\bar{x}$
Маса на рамото, kg	0,122	0,121	0,122	0,121	0,122	0,1216
Маса на тежестите, kg	0,295	0,290	0,295	0,285	0,295	0,296
Предав. отношение (634)	2	2	2	2	2	2

За определянето на въртящия момент се използва зависимост 6.

$$M = 9,81 \cdot \left(0,1216 \cdot \frac{0,615}{2} + 0,296 \cdot 0,615 \right) = 2,153 Nm$$

Предаването на въртящия момент се осъществява от ходовото колело на сеялката през 3 верижни и 2 зъбни предавки. КПД на всяка от тях е в границите 0,95-0,98. Като се вземат под внимание загубите в трансмисията, при КПД на отделните предавки 0,95, то необходимият въртящ момент се определя по следната формула:

$$M_b = \frac{M}{0,95^5} = \frac{2,153}{0,774} = 2,782 Nm$$

Съгласно формула 2 и предпоставките направени в Раздел III ъгловата скорост на задвижващото колело на сеялката е:

$$\omega_{bx} = \frac{3,33}{0,29} = 11,48 s^{-1}$$

За определяне на общото предавателно отношение се състави схема (фиг.1) на предавателния механизъм на сеялката. Определени са броят на зъбите от верижните зъбни колела, участващи във всяка една междинна предавка. Получените данни са отразени в следващата таблица 3.

Табл.3. Брой зъби на зъбните колела от предавателния механизъм

Зъбно колело	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5	Z_6
Брой зъби	32	16	37	22	16	32

Като се използват данните от табл.3 и формула 3 за междинните предавателни отношения се получават следните стойности:

- за предавателното отношение на първата верижна предавка

$$i_{b1} = \frac{16}{32} = 0,5 ;$$

- за предавателното отношение на втората верижна предавка

$$i_{b2} = \frac{22}{37} = 0,5946 ;$$

- за предавателното отношение на третата верижна предавка

$$i_{вз} = \frac{32}{16} = 2 ;$$

Както вече беше уточнено предавателното отношение на зъбния редуктор при положение 634 на регулаторния механизъм е 2.

Общото предавателно отношение на предавателния механизъм е произведение от стойностите на междинните и от формула 5 се получава:

$$i_{ПМ} = 0,5,0,5946.2.2 = 1,1892$$

Знае се, че предавателното отношение е частното от ъгловата скорост на входящия вал към ъгловата скорост на изходящия. В нашия случай входящия вал е валът на опорното (задвижващото) колело на сеялката, а изходящия вал – валът на сеещите апарати.

$$i_{ПМ} = \frac{\omega_{вх}}{\omega_{из}}$$

Горният израз се решава спрямо ъгловата скорост на изходящия вал и се получава:

$$\omega_{из} = \frac{\omega_{вх}}{i_{ПМ}} = \frac{11,48}{1,1892} = 9,65 \text{ s}^{-1}$$

При така получените резултати за въртящия момент и ъгловата скорост, необходимата за задвижване на сеещите апарати мощност е:

$$P = M_b \cdot \omega_{из} = 2,782.9,65 = 26,85 \text{ W}$$

От получения за мощността резултат трябва да се подбере електродвигател за задвижване на вала на сеещите апарати. Възможни са два варианта за осъществяване на задвижването – с постояннотоков и с асинхронен електродвигател.

V.2. Количество (обем) семена от пшеница, изсявани за един оборот на зъбен (цифтов) сеец апарат

Опитите, за получаването на необходимата информация, се провеждат съгласно т.2.2 от настоящата работа със семена от пшеница с плътност 825 kg/m³.

На случаен принцип са избрани предавки 111, 211, 231, 322, 431, 634 от зъбния редуктор на сеялката. За всяка от тях са извършени различен брой обороти на манивелата за едно пълно завъртане на задвижващия вал на сеещите апарати. Резултатите от тези предварителни опити са представени в табл.4

Таблица 4 Предварително определяне брой обороти на манивелата за 1 оборот на сеещия апарат

Предавка в редуктора	Повторения			Средна стойност	Средно- квадратично отклонение	Коеф. на вариация
	1	2	3			
111	141	140	141	141,67	0,577	0,410
211	70	71	70	70,33	0,577	0,821

231	44	44,5	44	44,17	0,288	0,654
322	22,5	22,5	22,5	22,5	0,00	0,000
431	11	11	11	11,00	0,00	0,000
634	2,5	2,5	2,5	2,5	0,00	0,000

Прави впечатление, че за всички предавки коефициентът на вариация е с малки стойности. Това говори за добро групиране на данните, без голямо разсейване. Най-голяма стойност на коефициента на вариация има при номер на предавката 211. Нормално тук да са необходими най-голям брой повторения. По тази причина първо се определя броя на повторенията за тази предавка. Съгласно методиката при ниво на значимост $\alpha=0,05$, относителна грешка $\delta=5\%$ и коефициент на вариация 0,821 броят на повторенията е 3.

За всяка от избраните предавки в зъбния редуктор се приема броят на повторенията при определяне на този показател да е 5.

След извършване на окончателните измервания се получиха резултатите, отразени в табл.5.

Табл.5 Брой обороти на манивелата за 1 оборот на сеещия апарат

Предавка в редуктора	Среден брой обороти
111	141,0
211	70,0
231	44,0
322	22,5
431	11,0
634	2,5

Съгласно т.2.2. от Обща методика (формула 4) данните от втората колона в табл.5 представляват предавателното отношение в предавателната система на сеялката от втория вал (на него е разположена манивелата) до вала на сеещите апарати (фиг.1).

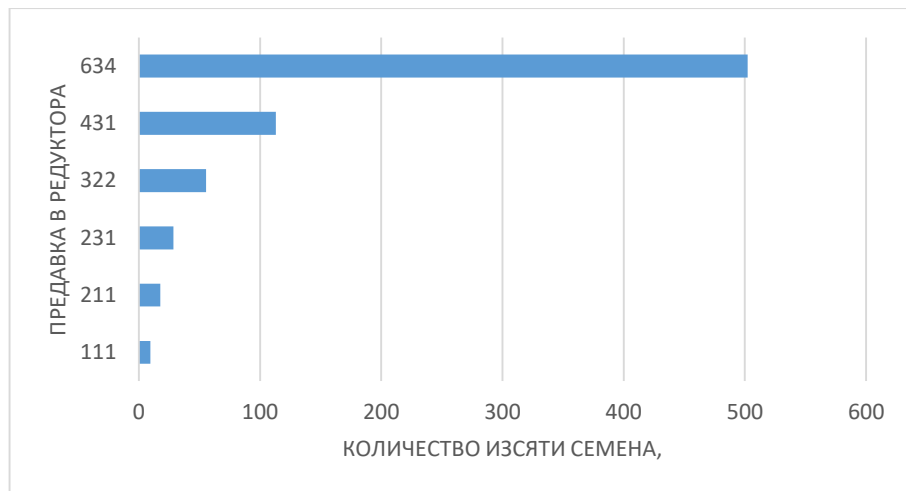
Съгласно методиката отразена в т.2.2, за всяка една предавка, са извършени 42 оборота на манивелата. Изсятото количество семена от пшеница е събрана и претеглено. Резултатите от проведените опити са отразени по-долу:

Табл.6 Количество семена, изсяти за 42 оборота на манивелата, g

Предавка в редуктора	Повторение					средно
	1	2	3	4	5	
111	9	10	10	10	9	9,6
211	17	18	18	17	18	17,6
231	28	30	27	28	28	28,6
322	56	54	57	55	56	55,4
431	119	110	112	108	116	113,0

634	505	503	501	503	501	502,4
-----	-----	-----	-----	-----	-----	--------------

С намаляване на предавателното отношение се забелязва увеличаване на количеството на изсяваните семена (табл.6). Това е логично, тъй като намалявайки предавателното отношение се увеличава скоростта на въртене на сеещия апарат и съответно се изнася по-голямо количество семена. Казаното до тук е визуализирано и се потвърждава на следващата фиг.6



Фиг.6 Изменение на изсяваното количество в зависимост от предавката в редуктора

Като се използва формула 7 е определено количество на семената изсяти за 1 оборот на сеещия апарат. За отделните предавки в редуктора се получават следните резултати:

Табл.7 Количество семена, изсяти за 1 оборот на сеещия апарат, g

Предавка в редуктора	Повторение					средно
	1	2	3	4	5	
111	30,21	33,57	33,57	33,57	30,21	32,23
211	28,33	30	30	28,33	30	29,38
231	29,33	31,43	28,29	29,33	29,33	29,61
322	30	28,93	30,54	29,46	30	29,68
431	31,17	28,81	29,33	28,28	30,38	29,86
634	30,06	29,94	29,82	29,94	29,82	29,90

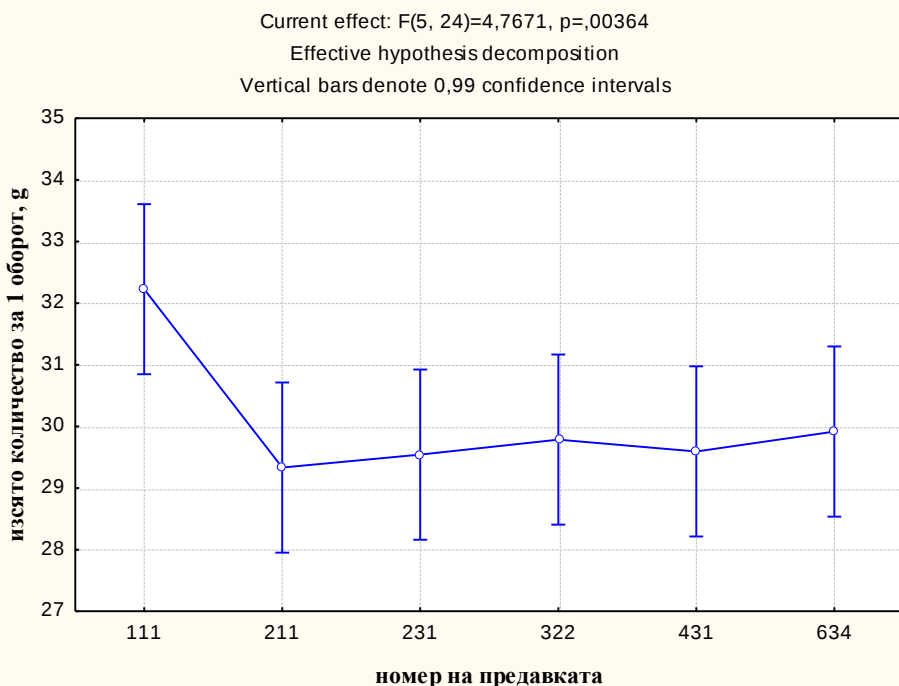
С данните от табл.7 е проведено сравняване на средните стойности при отделните предавки в редуктора при ниво на значимост $p=0,01$. Резултатите от този анализ са отразени в следващите таблица и фигура.

Табл.8 Сравняване на средни стойности за количеството семена, изсявани при различна предавка

T-test for Independent Samples, Note: Variables were treated as independent samples					
	Mean 1	Mean 2	t-value	df	p
111 vs. 211	32,226	29,332	3,149	8	0,014
111 vs. 231	32,226	29,542	2,767	8	0,024
111 vs. 322	32,226	29,786	2,813	8	0,023
111 vs. 431	32,226	29,594	2,696	8	0,027
111 vs. 634	32,226	29,916	2,802	8	0,023
211 vs. 231	29,332	29,542	-0,320	8	0,757
211 vs. 322	29,332	29,786	-0,922	8	0,383
211 vs. 431	29,332	29,594	-0,394	8	0,704
211 vs. 634	29,332	29,916	-1,419	8	0,194
231 vs. 322	29,542	29,786	-0,419	8	0,686
231 vs. 431	29,542	29,594	-0,071	8	0,945
231 vs. 634	29,542	29,916	-0,726	8	0,488
322 vs. 431	29,786	29,594	0,324	8	0,754
322 vs. 634	29,786	29,916	-0,468	8	0,652
431 vs. 634	29,594	29,916	-0,611	8	0,558

От данните в табл.8 се вижда, че няма доказана статистическа разлика между изсятите количества семена при различните предавки при ниво на значимост $p=0,01$. Това дава основание да приемем хипотезата, че количествата семена, изсявани за 1 оборот на сеещия апарат, при различните предавки са от една генерална съвкупност.

Казаното по-горе добре се илюстрира на фиг.7, където се вижда, че за всички предавки от 211 до 534 данните са почти еднакви, с голямо припокриване на полосите в които са разположени. Единствено при предавка 111 това припокриване е значително по-малко, но също е в наличност.



Фиг.7 Сравняване на средните стойности на изсето за 1 оборот количество семена, g

Средната стойност на количеството семена от пшеница, изсети за 1 оборот на сеещия апарат е 30,067 g.

С данните от табл.7 е проведен вариационен анализ като са определени дисперсията ($\sigma=1,11$), средно-квадратичното отклонение (1,05) и коефициентът на вариация ($v=3,50$). От извършените измервания и статистически анализ се установява, че данните са добре групирани около средната стойност, с незначително разсейване.

За по-голяма сигурност в получените резултати е направена проверка за груби грешки в измерванията, съгласно методиката предложена от авторите (Митков А., Д.Минков, 1989). При ниво на значимост $\alpha=0,01$ и брой на измерванията $n = 6$ граничната стойност на критерия за груби грешки в измерванията е $V_T = 2,13$. Изчислените стойности на този критерий за минималното (29,38) и максималното (32,23) количества семена, изсети за 1 оборот на сеещия апарат са съответно $V_{29,38} = 1,434$ и $V_{32,23} = 2,01$ което дава основание да се твърди, че няма груби грешки при направените измервания, които да изкривят съществено получените резултати и да доведат до некоректни изводи в следващите дейности по докторантския труд.

Плътността на използвания посевен материал от пшеница е 825 kg/m^3 . Съгласно формула 2.9 обемът семена, изсявани за 1 оборот на сеещия апарат е $0,0000371758 \text{ m}^3$.

V.3. Определяне на функционалната връзката между предавателното отношение в предавателния механизъм, плътността на семената и количеството изсявани семена

От направените по-рано измервания бе установено предавателното отношение от втория вал на предавателната система до вала на сеещите апарати.

Табл.9 Предавателно отношение между втория вал и вала на сеещите апарати

Предавка в редуктора	Предавателно отношение
111	141,0
211	70,0
231	44,0
322	22,5
431	11,0
634	2,5

Общото предавателно отношение ще се получи като произведение от предавателното отношение на верижната предавка от задвижващото колело до втория вал и предавателното отношение отразено в табл.9. Съгласно формула 3 и фиг.5 предавателното отношение на верижната предавка е:

$$i_{\text{в}} = \frac{z_2}{z_1} = \frac{16}{32} = 0,5$$

След направените изчисления общото предавателно отношение от задвижващото колело на сеялката до вала на сеещите апарати е посочено в табл.10.

Табл.10 Предавателно отношение при различните предавки в редуктора

Предавка в редуктора	Предавателно отношение
111	70,50
211	35,00
231	22,00
322	11,25
431	5,50
634	1,25

При определяне на горно, долно и средно ниво на този фактор се водим от правилото, че отстоянието между тях трябва да е приблизително еднакво. Ако се приеме, че горното ниво е 70,5 (при предавка 111), а долното е 1,25 (при предавка 634) с известно приближение средното ниво ще бъде 35 (при предавка 211).

Съгласно т.ІІІ.3 са подбрани семенни материали с плътност 250, 537 и 825 kg/m³.

Като следствие от казаното по-горе, планът на експеримента придобива вида (табл.11):

Табл.11 План на експеримента

Управляващи фактори	
<i>Предавателно отношение</i>	<i>Плътност на материала, kg/m³</i>
70,50	825,00
70,50	250,00
1,25	825,00
1,25	250,00
35,00	825,00
35,00	250,00
70,50	532,00
1,25	532,00

Съгласно приетата методика, във всяка точка от опита са проведени измервания, в 5-кратна повторяемост. Резултатите са получени от работата само на 1 сеещ апарат. Ако трябва да се знае количеството семена изсяти от цялата сеялка, то данните отразени в следващата таблица е необходимо да се умножат по броя на сеещите апарати на наблюдаваната сеялка.

Осреднените данни от проведените опити са представени в табл.12.

Табл.12 Осреднени данни от проведените опити

Управляващи фактори		<i>Изсято количество семе за 42 оборота, g</i>
<i>Предавателно отношение</i>	<i>Плътност на материала, kg/m³</i>	
70,50	825,00	9,6
70,50	250,00	3
1,25	825,00	502,4
1,25	250,00	151,4
35,00	825,00	17,6
35,00	250,00	5,6
70,50	532,00	6
1,25	532,00	322

Вижда се, че с увеличаване на плътността линейно се увеличава изсятото количество семена. Това е логично, понеже при еднакъв брой завъртания сеещият апарат изнася еднакъв обем семена. Колкото е по-голяма плътността умножено по този обем ще даде съответно и по-голямо количество (по-голямо тегло) на семената.

От друга страна, с намаляване на предавателното отношение, започва по-бързо (с по-голяма скорост) да се върти изходящия вал на редуктора, респективно и вала на сеещия апарат. Това води до изнасяне на по-голямо количество семена при едни и същи обороти на ходовото (задвижващото) колело.

Проведеният факторен анализ (табл.13) дава основание да се твърди, че предавателното отношение оказва по-силно въздействие върху изменението на изсятото количество семена в сравнение с плътността на семената. Около 61,1%

от това изменение се дължи на предавателното отношение. 33,3% са под въздействие на плътността на семената. В заключение 94,4% от изменението на изсятото количество семена се дължи на двата фактора. Само 5,6% от тази промяна се дължи на други фактори, които не са докладвани в настоящото проучване. Според водещи автори това е предпоставка да се проведе регресионен анализ само с тези 2 фактора (плътност на семената и предавателно отношение).

Табл.13 Факторен анализ

Eigenvalues (ПЛЪТНОСТ, ПРЕДАВАТЕЛНО ОТНОШЕНИЕ) Extraction: Principal components				
	Eigenvalue	% Total	Cumulative	Cumulative
Предавателно отношение	1,832790	61,09301	1,832790	61,09301
Плътност на семената	0,999973	33,33243	2,832763	94,42544

С осреднените данни от табл.12 е проведен регресионен анализ с помощта на програмен продукт Statistika v.7. Резултатите от него са представени в табл.14

Табл.14 Резултати от регресионния анализ

Regression Summary for Dependent Variable: R= 0,98407964; R ² = 0,96841273; Adjusted R ² = 0,93682547; F(4,4)=30,658 p<0,0029						
	Beta	Std.Err.	B	Std.Err.	t(4)	p-level
X	-1,71106	0,554431	-7,99908	2,591925	-3,08615	0,036711
Y	1,67096	0,151774	0,61569	0,055923	11,00951	0,000387
X²	1,79711	0,521588	0,12608	0,036592	3,44546	0,026163
X.Y	-1,28815	0,247045	-0,01023	0,001963	-5,21424	0,006453

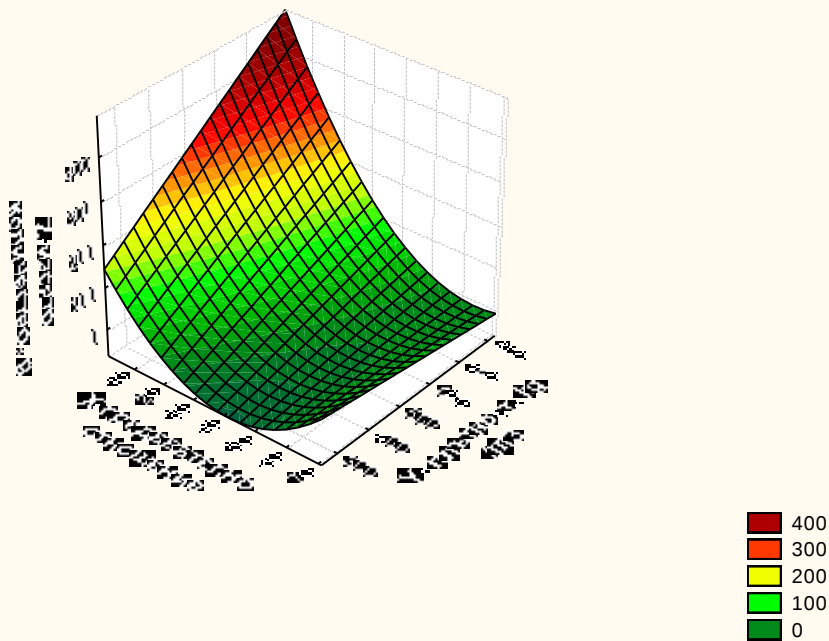
X – предавателно отношение, Y –плътност на изсяваните семена, kg/m³

Полученият модел има вида:

$$Z = -8 * X + 0,616 * Y + 0,126 * X^2 - 0,010 * X * Y$$

С негова помощ е построена регресионната повърхнина.

$$\text{Function} = -8*x+0,616*y+0,126*x*x-0,01*x*y$$



Фиг.8 Регресионна повърхнина за връзка между предавателно отношение, плътност на семената и изсяваното количество

V.4. Определяне приведените експлоатационни разходи в зависимост от използвания в редосеялката предавателен механизъм (механичен или електронен) при извършване на сеитба на зърнено-житни със “слята повърхност”.

Като базов модел е избрана сеялка аналог на сеялка Saxonia A200, с 3 m работна широчина. Задвижването на сеещите апарати се осъществява от ходовото колело посредством вариатор. Цената на сеялката е 14000 лв., а само вариатора струва 450 лв. Има възможност за замяна на вариатора със 32-степенен зъбен редуктор, чиято цена е 1235 лв. При този вариант цената на сеялката е 14785 лв. Мехатронната система за управление на сеитбената норма включва контролер, честотен регулатор, оборотомер и постоянен ток двигател, струващи съответно 45, 350, 23, 150 лв. Общата цена с окабеляването и вложения труд е 730 лв. Цената на сеялката, оборудвана с мехатронна система е 14280 лв.

За настоящите изчисления е избран трактор MF4708M с базова цена 159430 лв.

Годишните отчисления за амортизации и основен ремонт на сеялката са 20% от цената на придобиване (при 5 години срок за откупуване), тези за текущ ремонт и поддръжка — 16%. За трактора тези отчисления са съответно 10 % за

амортизации и основен ремонт и 16% за текущ ремонт и поддръжка. При изчисляване на експлоатационните разходи на агрегата за отчисленията за амортизации и основен ремонт се взема 1/6 от общата им стойност при трактора и 100 % от тези при сеялката. Общата сума на тези отчисления при различните видове задвижване се изменят както следва: с вариатор — 11948,63 лв./годишно, със зъбен редуктор — 12231,23 лв./годишно и с мехатронна система — 12049,43 лв./годишно.

От направените анкетни проучвания в Пазарджишка област е установено, че заплащането на механизатора е 100-125 лв./ден, а на помощния работник — 50-60 лв. Прието е ФРЗ за механизатора — 125 лв., а за обслужващия работник — 55 лв. за ден.

Разходът за гориво-смазочни материали е разхода за основно гориво и неговата комплексна цена. Комплексната цена е стойността на 1 kg гориво и съответните количества смазочни материали, изчислени в процент към основното гориво. Цената на дизеловото гориво е 3,33 лв./л. Тази цена се умножава по 1,2 за превръщане в цена за 1 kg и полученото число се умножава по 1,06 за получаване на комплексната цена на 1 kg дизелово гориво, а именно 4,236 лв./kg. При среден разход от 0,28 kg/dka цената на горивото е 1,186 лв./dka.

Разходът за гуми е 6300 лв. за комплект. Един комплект обикновено се използва 2 години. От тук следва, че за година този разход е 3150 лв.

Използването на сеялката през годината е около 40 дни. Часовата производителност е произведението от работната ширина — 3 m, скоростта на движение — приета е 12 km/h и коефициентът за използване на работната скорост, работната ширина и времето за работа — 0,8. което прави 28,8 dka/h. При 8,5 h продължителност на работния ден дневната производителност е 244,4 dka. Сезонната (годишната) производителност е 9776 dka. Производителността не се влияе от типа на задвижването на сеещите апарати.

Разходът за гориво-смазочни материали като произведение от комплексната цена на горивото и сезонната производителност е 11594,336 лв. За работна заплата на механизатора и помощния работник този разход е 8533,44 лв. Разходите по пера, експлоатационните и приведените експлоатационни разходи са отразени в следващата таблица.

Таблица 15 Приведени експлоатационни разходи общо и по пера, лв./година

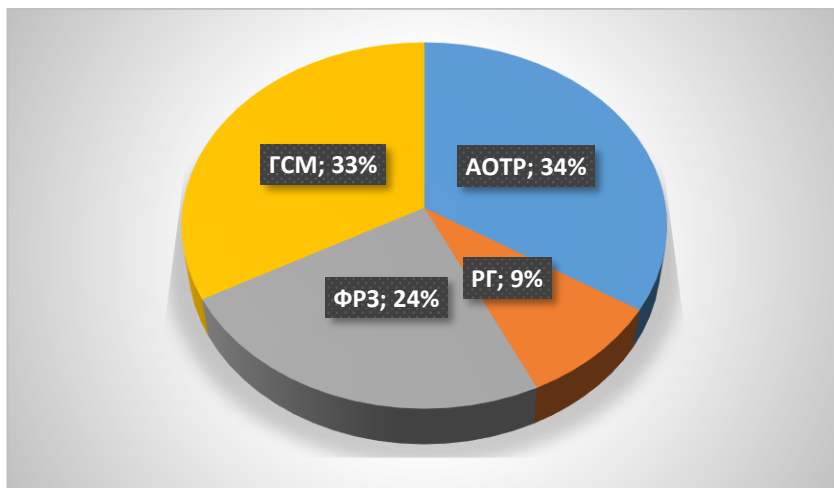
	ОАТРП	ГСМ	ФРЗ	Г	ЕР	ПЕР
с вариатор	11948,63	11594,34	8533,44	3150,00	35226,53	3,603
с редуктор	12231,23	11594,34	8533,44	3150,00	35509,13	3,632
с мехатронна система	12049,43	11594,34	8533,44	3150,00	35327,33	3,614

ОАТРП – отчисления за амортизации, текущ ремонт и поддръжка, ГСМ – разходи за гориво-смазочни материали, ФРЗ – фонд работна заплата, Г – разходи за гуми, ЕР – експлоатационни разходи, ПЕР – приведени експлоатационни разходи

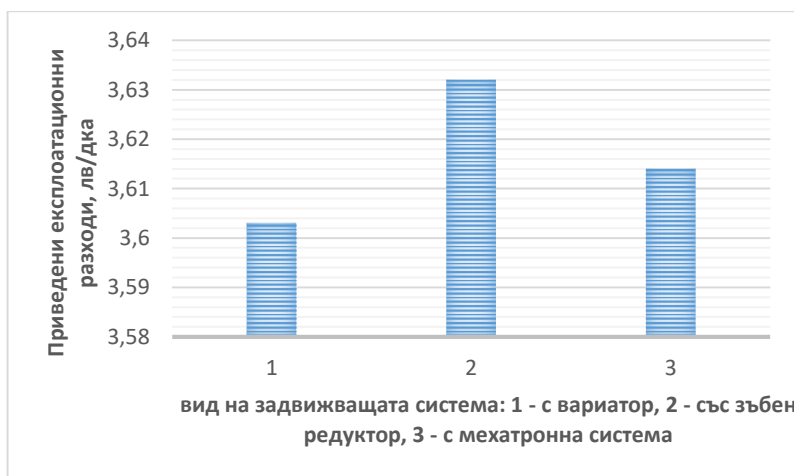
Видно е, че с най-голям дял са разходите за ОАТРП и ГСМ – съответно 34 и 33% от ЕР (фиг.9). Близко до тях са разходите за ФРЗ – 24%, а относително най-малки са разходите за Г – 9%. Това се дължи от една страна на големия обем работа, който се извършва през годината със сеялката и сравнително ниската цена

за нейното придобиване от друга. Експлоатационните разходи са почти еднакви, съответно и приведените експлоатационни разходи (фиг.10), при трите разглеждани варианта, тъй като има незначителна разлика при ОАТРП дължаща се на системата за задвижване на сеещите апарати.

Процентното разпределение на разходите по пера е представено на следващата диаграма.



Фигура 9 Разпределение на разходите по пера



Фигура 10 ПЕР в зависимост от задвижващата система

IV.5. Изводи.

1. Определени са ъгловата скорост на вала на сеещите апарати ($9,65 \text{ s}^{-1}$), въртящият момент ($2,782 \text{ Nm}$) и мощността за неговото задвижване ($26,85 \text{ W}$). От получения за мощността резултат трябва да се подбере електродвигател за задвижване на вала на сеещите апарати. Възможни са два варианта за осъществяване на задвижването – с постояннотоков и с асинхронен електродвигател.

2. Количеството семена от пшеница, при плътност 825 kg/m^3 , изсети за 1 оборот на сеещия апарат е $30,067 \text{ g}$.

3. С увеличаване на плътността линейно се увеличава изсятото количество семена, а с намаляване на предавателното отношение, започва по-бързо (с по-голяма скорост) да се върти изходящия вал на редуктора, респективно и вала на сеещия апарат. Това води до изнасяне на по-голямо количество семена при едни и същи обороти на ходовото (задвижващото) колело. Предавателното отношение оказва по-силно въздействие върху изменението на изсятото количество семена в сравнение с плътността на семената. Около $94,4\%$ от изменението на изсятото количество семена се дължи на двата фактора. Само $5,6\%$ от тази промяна се дължи на други фактори, които не са докладвани в настоящото проучване.

4. С най-голям дял са разходите за ОАТРП и ГСМ, близко до тях са разходите за ФРЗ, а относително най-малки са разходите за Г. Това се дължи от една страна на големия обем работа, който се извършва през годината със сеялката и сравнително ниската цена за нейното придобиване от друга. Експлоатационните разходи са почти еднакви, съответно и приведените експлоатационни разходи, при трите разглеждани варианта, тъй като има незначителна разлика при ОАТРП дължаща се на системата за задвижване на сеещите апарати.

VI. ОБЩИ ИЗВОДИ

От литературния обзор, теоретичните и експериментални изследвания и следваща обработка на опитните данни и анализи могат да се направят следните изводи:

1. В земеделската практика, при сеитба на зърнени култури със „слята“ повърхност, масово се използват зъбен и улеен сеещи апарати.;

2. В използваните редосеялки задвижването на сеещите апарати се осъществява с механични или мехатронни системи.;

3. Обемното тегло на изсяваните материали варира в твърде широки граници, от 300 до 900 kg/m^3 , като в проучената литература няма достатъчно данни за влиянието му върху сеитбената норма.

4. С помощта на проведеното теоретично изследване е определена предавателната функция, необходима за задаване и поддържане на сеитбената норма при работа със сеялка Saxonia 200A - $i = \frac{Q}{4575,74 \cdot q_{ог}}$. Тя е в пряка зависимост от сеитбената норма и количеството семена, изсявано за 1 оборот на сеещия апарат. Предавателната функция е в основата на мехатронна система за безстепенно регулиране на сеитбената норма, захранвана от батерията на трактора.

5. Определени са ъгловата скорост на вала на сеещите апарати ($9,65 \text{ s}^{-1}$), въртящият момент ($2,782 \text{ Nm}$) и мощността за неговото задвижване ($26,85 \text{ W}$). От получения за мощността резултат трябва да се подбере електродвигател за задвижване на вала на сеещите апарати. Възможни са два варианта за осъществяване на задвижването – с постояннотоков и с асинхронен електродвигател.

6. Количеството семена от пшеница, при плътност 825 kg/m^3 , изсети за 1 оборот на сеещия апарат е 30,067 g.

7. Разработен е математичен модел за влиянието на плътността на семената (Y) и предавателното отношение (X) върху количеството изсявани семена.

$$Z = -8 * X + 0,616 * Y + 0,126 * X^2 - 0,010 * X * Y$$

Моделът е адекватен при ниво на значимост $p < 0,0029$ и може да се използва за решаване на оптимизационни и други изследователски задачи.

8. С увеличаване на плътността линейно се увеличава изсятото количество семена, а с намаляване на предавателното отношение, започва по-бързо (с по-голяма скорост) да се върти изходящия вал на редуктора, респективно и вала на сеещия апарат. Това води до изнасяне на по-голямо количество семена при едни и същи обороти на ходовото (задвижващото) колело. Предавателното отношение оказва по-силно въздействие върху изменението на изсятото количество семена в сравнение с плътността на семената. Около 94,4% от изменението на изсятото количество семена се дължи на двата фактора. Само 5,6% от тази промяна се дължи на други фактори, които не са докладвани в настоящото проучване.

9. С най-голям дял са разходите за ОАТРП и ГСМ, близко до тях са разходите за ФРЗ, а относително най-малки са разходите за Г. Това се дължи от

една страна на големия обем работа, който се извършва през годината със сеялката и сравнително ниската цена за нейното придобиване от друга. Експлоатационните разходи са почти еднакви, съответно и приведените експлоатационни разходи, при трите разглеждани варианта, тъй като има незначителна разлика при ОАТРП дължаща се на системата за задвижване на сеещите апарати.

VII. ПРИНОСИ

V.1. Научно-теоретични приноси

1. Определена е по теоретичен път предавателната функция в една мехатронна система, управляваща и поддържаща процеса на изсяване на семена при сеялката Saxonía A200. Като променливи в нея се явяват сеитбената норма и количество семена $q_{об}$, които се изсяват за 1 оборот на сеещия апарат, което е в пряка зависимост от плътността и обема им.

2. Установена е функционалната връзка между плътността на семената, предавателното отношение и количеството изсявани семена. Разработен е математичен модел, който е адекватен и може да се използва за решаване на оптимизационни и други изследователски задачи.

3. Разработена е методика за определяне на основните параметри на електрозадвижването на сеещите апарати на сеялка Saxonía A200.

V.2. Научно-приложни приноси

1. Разработени са 2 варианта на мехатронна система за управление на сеитбената норма – с постоянно- и променливотоков двигател. В основата и на двата варианта е микропроцесора (микрокомпютъра) Arduino, който е инструмент за разработване на устройства, които взаимодействат с физическата среда. Представява отворена хардуерна и софтуерна платформа за работа с физически обекти.

2. Определено е количеството семена от пшеница, изсети за 1 оборот на зъбния (щифтов) сеещ апарат на сеялка Saxonía A200 – 30,067 g.

3. Установено е, че предавателното отношение оказва по-силно въздействие върху изменението на изсятото количество семена в сравнение с плътността на семената. Около 61,1% от това изменение се дължи на предавателното отношение. 33,3% са под въздействие на плътността на семената. Общо 94,4% от изменението на изсятото количество семена се дължи на двата фактора. Само 5,6% от тази промяна се дължи на други фактори, които не са взети под внимание.

4. Доказано е, че видът на задвижващата система (механична или електрическа) на сеещите апарати на сеялката не оказва съществено влияние върху приведените експлоатационни разходи. 2/3 от тези разходи са отчисления за амортизации, основен и текущ ремонт, 1/4 за формиране на фонд работна заплата и около 1/10 за гориво.

1. Kehayov D., A.Atanasov, **I.Bozhkov**, I.Zahariev, 2022, INFLUENCE OF SEED DENSITY AND GEAR RATIO ON QUANTITY OF SOWED SEEDS, Proceeding of 21th International Scientific Conference Engineering for Rural Development, 25-27.май.2022, Йелгава, Латвия, p.194-198;
2. KehayovD., **I.Bojkov**, I.Zahariev, 2022, DETERMINING THE SEEDS SOWN PER REVOLUTION OF THE SOWING APPARATUS, Scientific Papers. Series A. Agronomy, vol.LXV (1), p.661-665 (докладвана на международна научна конференция AGRICULTURE FOR LIFE, LIFE FOR AGRICULTURE 2-4.юни.2022, Букурещ)
3. **Bojkov I.**, D.Kehayov, I.Zahariev, 2022, DETERMINATION OF OPERATING AND ECONOMIC INDICATORS OF A PLANTER WITH DIFFERENT TRANSMISSION SYSTEMS, Proceedings of University of Ruse, vol.61, book 1.1, pp.19-23
4. **Bojkov I.**, D.Kehayov, 2023, MECHATRONIC SYSTEM FOR CONTROLLING THE SOWING RATE, Mechanization in agriculture & Conserving of the resources, vol.67 (1), p.3-5, (докладвана на международна научна конференция HIGH TECHNOLOGIES. BISNESS. SOCIETY, 3-9.март.2023, Боровец)
5. Kehayov D., **I.Bojkov**, I.Zahariev, G.Hristova, 2023, DETERMINING PARAMETERS OF AN ELECTRIC DRIVE FOR SOWING APPARATUS OF THE SAXONIA A200 SEED DRILL, Agricultural Science and Technology, vol.15 (1), p.60-64