



ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ
Факултет „Горско стопанство“
Катедра „Технологии и механизация
в горското стопанство“



ДИМИТЪР ПЕТРОВ ПЕЕВ

**ОПТИМИЗИРАНЕ ПРОЦЕСА НА НАСИЧАНЕ
НА ДРЕБНОРАЗМЕРНА ДЪРВЕСИНА
С МОБИЛНИ СЕКАЧНИ МАШИНИ**

АВТОРЕФЕРАТ

**на дисертационен труд за присъждане на образователна
и научна степен „доктор“**

Професионално направление: 5.13. Общо инженерство
**Научна специалност: „Технология, механизация и автома-
тизация на горското стопанство и добива на дървесина“**

Научен консултант:
доц. д-р Димитър Петров Георгиев

София, 2019 г.

Дисертационният труд съдържа 142 страници текст, 80 фигури и 42 таблици, структуриран е в пет глави и съдържа 11 приложения. Използваната литература включва 86 заглавия, от които 44 са на кирилица и 42 на латиница.

Защитата на дисертационния труд ще се състои на 19.09.2019 г. от 13 часа в зала „Акад. Мако Даков“ на Лесотехническия университет, гр. София, бул. „Климент Охридски“ № 10 на открито заседание на научно жури, утвърдено със заповед ЗПС № 333/27.06.2019 на ректора на Лесотехническия университет, в състав:

Председател: доц. д-р Константин Иванов Маринов – рецензия

Членове:

доц. д-р Димитър Петров Георгиев – становище

проф. д.н. инж. Сотир Петров Глушков – ИГ – БАН – рецензия

доц. д-р инж. Димитър Костадинов Младенов – ЛТУ – становище

доц. д-р инж. Богдан Ангелов Богданов – ИГ – БАН – становище

Дисертационният труд е разработен в рамките на самостоятелна докторантура към катедра „Технологии и механизация в горското стопанство“, факултет „Горско стопанство“ при Лесотехническия университет – София.

Материалите по защитата са на разположение на сайта на Лесотехническия университет (www.ltu.bg) и в деканата на ФГС, стая 222, София, бул. „Климент Охридски“ № 10.

УВОД

Горите са национално богатство на всяка страна. От най-ранните години на човечеството те са основен източник на дървесина за строителството, промишлеността, а също и за отопление.

Ресурсите от горите са ограничени, а нарастването на населението в света и развитието на промишленото производство непрекъснато увеличават потребностите от дървесина. Правилното стопанисване на горите, които са възобновяем източник, не само задоволява нуждите на обществото, но подобрява състоянието на насажденията и осигурява устойчивото им развитие.

Това в най-голяма степен се отнася за младите насаждения, в които се провеждат отгледни сечи. Отгледните сечи са важно лесовъдско мероприятие, от което зависят строежът, структурата и устойчивостта на горите. Отглеждането на насажденията в млада възраст осигурява по-качествена дървесина и високопродуктивни зрели насаждения.

Дървесината, която се добива от отгледните сечи, е предимно дребно-размерна и е икономическо понятие, което се определя от съотношението на разходите за добиването ѝ и приходите от нейното реализиране. В повечето случаи разходите по добиването на дребноразмерна дървесина надхвърлят приходите от реализацията ѝ.

Решаването на проблемите с усвояването на дребноразмерната дървесина може да стане чрез насичането ѝ на технологични трески. За тази цел може да се използват различни секачни машини, което налага провеждането на теоретични и експериментални изследвания с цел оптимизиране на процеса на насичане на тази дървесина с мобилни секачни машини.

ГЛАВА I. СЪСТОЯНИЕ НА ПРОБЛЕМА. ЦЕЛ И ЗАДАЧИ

1.1. Отгледни сечи – състояние, проблеми и възможности за своевременното им провеждане

Посочените в дисертационния труд данни показват, че в България има потенциал за добиване на по-голямо количество дървесина от отгледни сечи в най-млада възраст, където се водят осветления и прочистки.

Въз основа на анализа за състоянието на горите в нашата страна може да се направят следните изводи:

1. През периода 2002 – 2014 г. са достигнати 50% от предвижданията за добиване на дървесина при отгледните сечи. Системно не се извеждат мероприятията в млада възраст, което довежда до нарушаване структурата на насажденията, устойчивостта им на вредители и болести и намаляване на продуктивността им.

2. Особено тревожно е положението при широколистните високоствъблени насаждения, при които за същия период добивът на дървесина от отгледни сечи е по-малко от 50% от предвиденото, а в отделни периоди този добив е по-малък от 20% (2011 – 2012 г.).

3. Причина за ниския процент на извеждане на отгледни сечи са високите разходи за добиване на дребна дървесина и нежеланието на фирмите, извършващи дърводобива, да работят в отгледни сечи. Друга причина е отсъствието на адекватна съвременна технология за добив и преработка на дребноразмерна дървесина.

1.2. Дребноразмерна дървесина – същност, особености, ресурси и възможности за използване

Дървесината, получена от отгледни сечи, е ценна суровина за производството на много продукти. От стъблото може да се получат обли сортименти и технологични трески, клоните може да бъдат използвани като суровина за производство на плочи от дървесни частици, целулоза и за енергийни нужди.

В различните страни проблемите, свързани с дребноразмерната дървесина са едни и същи и това са преди всичко високите разходи за добиването и транспортирането ѝ.

В България понастоящем понятието „дребноразмерна дървесина” не е ясно дефинирано и регламентирано в национален документ.

Прегледът на литературата по въпроса за възможностите за добиване на дребноразмерна дървесина и качеството на технологичните трески, добити от тази дървесина, позволява да се направят следните по-важни изводи:

1. Голям е относителният дял на младите и средно възрастните насаждения както при иглолистните, така и при широколистните. При белия

бор, който при иглолистните има най-голям дял по площ и по запас, доминират младите и средно възрастните насаждения (81%), в които се водят отгледни мероприятия.

2. Горите в нашата страна разполагат с голям потенциал за добиване на дървесна биомаса за производство на енергия, която заема най-голям дял (45%) от всички възобновяеми енергийни източници (ВЕИ).

3. Въпросът с подобряването на фракционния състав е разглеждан предимно при дискови секачни машини, като са използвани машини за лабораторни условия, на които се променят регулировъчните параметри – ъглите на рязане и др.

4. Липсват систематизирани сравнителни проучвания за насичане на дребноразмерна дървесина с различни секачни машини, които да определят подходящи по вид и параметри секачни машини за нейното раздробяване.

5. Не е достатъчно добре изяснено влиянието на размерите на материалите върху качеството на технологичните трески и производителността при работа с различни секачни машини. Изследванията по този въпрос са провеждани при различни условия с различна методика, поради което липсва добра основа за сравнимост на получените резултати.

6. Параметрите на въздушния поток при барабанните секачни машини са слабо проучени, а също и влиянието на мощността на двигателя върху вентилационната способност на секачните машини.

1.3. Цел, обект и задачи на изследването

1.3.1. Цел на изследването

Основната цел на настоящия дисертационен труд е изследване и оптимизиране на процеса на насичане на дребноразмерна дървесина от бял бор с мобилни дискови и барабанни секачни машини.

1.3.2. Обект и предмет на изследването

Обект на изследването

Мобилни дискови и барабанни секачни машини, задвижвани с автономен двигател или с помощта на трактор.

Предмет на изследването

Дребноразмерна дървесина от бял бор.

1.3.3. Задачи на изследването

Целта на изследването налага решаването на следните задачи:

1. Теоретично определяне на максималната допустима дължина на материалите при насичане на дребноразмерна дървесина с различни размери (диаметри) и с различни по мощност на двигателя и вид секачни машини.

2. Определяне на качествените показатели на технологичните трески от дребноразмерна дървесина, добити с дискови и барабанни секачни машини.

3. Изследване на вентилационната способност на секачните машини – определяне на скоростта и концентрацията на сместа от дървесни трески и въздух (аеросместа).

4. Определяне на скоростта на подаване и производителността на секачните машини.

5. Оптимизиране процеса на насичане на дребноразмерна дървесина – определяне на подходящи по вид и мощност/цена секачни машини, съобразно размерите на подлежащите на насичане материали.

ГЛАВА II. ТЕОРЕТИЧНО ИЗСЛЕДВАНЕ ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ МАКСИМАЛНО ДОПУСТИМАТА ДЪЛЖИНА НА ДЪРВЕНИТЕ МАТЕРИАЛИ В ЗАВИСИМОСТ ОТ ТЕХНИЯ ДИАМЕТЪР И МОЩНОСТТА НА СЕКАЧНИТЕ МАШИНИ

Насичането на дълги материали – цели стъбла и дървета, особено когато те са с голям диаметър, е свързано с опасност от претоварване на двигателя, задвижващ секачния механизъм, което изисква предварителното им разкрояване. Това налага провеждането на проучвания за определяне на максимално допустимата дължина на материалите в зависимост от техния диаметър, вида на секачния механизъм и мощността на двигателя. Максималната допустима дължина на материалите, подлежащи на насичане, може да бъде определена по уравнението за движение на вала на секачните машини по време на раздробяването (Вальщиков 1970, Георгиев 1986), което е от вида:

$$4\pi J \left(n_n^2 - n_k^2 \right) = \Sigma A - \eta \lambda \cdot N_{\partial \phi} \cdot t_p \cdot 10^3, \quad (2.1)$$

където:

J е приведенят масов инерционен момент на вала на диска или барабана от въртящите се части на секачната машина, N.m/s²;

n_n – честотата на въртене на диска или барабана до началото на рязане (номинално значение), s^{-1} ;

n_k – честота на въртене на диска или барабана след насичане на дървесината, s^{-1} ;

$\sum A$ – работата за рязане, J;

η – коефициентът на полезно действие на секачната машина (за секачни машини с принудително изхвърляне на треските $\eta = 0,7$);

λ – допустимият коефициент за кратковременно претоварване на двигателя (за дизелови двигатели $\lambda = 1,15$);

$N_{дв}$ – мощността на двигателя, отчетена от скоростната характеристика при изменение на честотата на въртене на колянвия вал от номиналната ѝ стойност до стойността ѝ при максимален въртящ момент, kW;

t_p – времето за рязане, s.

Масовият инерционен момент, приведен към вала на диска или барабана, се определя по уравнение от вида:

$$J = \frac{GD^2}{8g}, \text{ N.m/s}^2, \quad (2.2)$$

където:

G е теглото на диска, N;

D – диаметърът на диска, m;

g – земното ускорение, m/s^2 .

Инерционният момент на движещите се части на двигателя е пренебрегнат поради това, че е много по-малък от инерционния момент на секачната машина и практически не оказва влияние върху дължината на насичаните материали.

Работата, необходима за насичане на материали с определени размери може да бъде определена от равенството, предложено от Вальщиков (1970):

$$\sum A = P \frac{\pi d_c^2 \cdot 10^3}{4 \sin \psi \sin \varphi} \cdot \frac{L}{l_m K_l}, \text{ J}, \quad (2.3)$$

където:

P е специфичното съпротивление на рязане, N/m;

d_c – средният диаметър на подлежащите на насичане материали, m;

L – дължината на материалите, m;

Ψ – ъгълът на срещане на вектора на скоростта на рязане с посоката на дървесните влакна, rad ;

φ – ъгълът на наклона, измерен между линията на острието на ножа и посоката на влакната, rad ;

K_l – коефициентът, отчитащ неравномерността на треските по дължина при отделните отрезки (за секачните машини с малък брой ножове $K_l = 0,83$).

Времето за насичане на материалите с дадена дължина се определя от уравнението, предложено от Вальщиков (1970):

$$t_p = \frac{L}{K_l n_{\text{cp}} Z l_m}, \text{ s}, \quad (2.4)$$

където:

n_{cp} е средната честота на въртене на диска или барабана на секачната машина, s^{-1} ;

Z – броят на режещите ножове.

Така след като се заместят J , $\sum A$ и t_p с техните равни от предходните формули в уравнението за определяне дължината на материалите, се получава:

$$L = \frac{GD^2 \pi^2 (n_n^2 - n_k^2) l_m K_l}{2g \left(P \frac{\pi d_c^2 10^3}{4 \sin \psi \sin \varphi} - \frac{\eta \lambda N_{\text{дв}} 10^3}{n_{\text{cp}} Z} \right)}, \text{ m}. \quad (2.5)$$

Полученото уравнение изразява връзката между дължината на материалите (L), средния им диаметър (d_{cp}), дължината на технологичните трески ($l_{\text{т}}$) и мощността на двигателя на секачната машина или на трактора, който я задвижва ($N_{\text{дв}}$).

ГЛАВА III. МЕТОДИКА НА ЕКСПЕРИМЕНТАЛНОТО ИЗСЛЕДВАНЕ

3.1. Методика на експерименталното изследване на мобилни дискови и барабанны секачни машини

3.1.3. *Обект и предмет на изследването.* Обектът на изследването е процеса на насичане на дървесината на технологични трески с мобилни секачни машини Schliesing 200 MX, Vermeer BC 1000 XL, Heizohack HM

6-300 EM, Bruks 850 M и Wallenstein BX 62 R с технически характеристики, посочени в Приложение № 5. Обектът може да се представи схематично с модела на „черна кутия“ (фиг. 3.1).



Фиг. 3.1. Кибернетичен модел на изследвания обект

Съгласно схемата, величините Y_p ($i = 1, 2, \dots, p$) представляват изходните параметри на изследването. Необходимо условие за провеждане на активен експеримент е да съществува реална възможност за въздействие и влияние върху технологичния процес. Всички възможни начини за въздействие се наричат входни фактори и се бележат с X_i ($i = 1, 2, \dots, m$). Величините W_i ($i = 1, 2, \dots, q$) представляват смущаващите фактори, които са неуправляеми по време на процеса.

3.1.4. Входни параметри. Мобилните секачни машини са регулирани да произвеждат технологични трески с дължина 0,02 m. Възможност за управление на факторите има в размерите на раздробяваната дървесина и мощността на секачните машини. За изследването са избрани следните управляеми фактори:

X_1 – диаметър на материалите, cm;

X_2 – дължина на материалите, m;

X_3 – мощност на секачната машина, kW.

Други управляеми фактори, влияещи върху протичането на процеса, са:

X_4 – дължина на треските, m;

X_5 – влажност на дървесината, %.

За да се намали броят на опитите, факторите X_4 и X_5 се поддържат на едно ниво. Влажността на дървесината X_5 се поддържа на около 50 – 55%, която е свежа и прясно отсечена за всеки експеримент. Дължината на треските X_4 , както беше споменато по-горе, се поддържа на ниво 0,02 m. Дървесният вид също оказва влияние върху процеса на насичане на дървесината, тъй като физико-механичните качества на дървесината (най-вече твърдостта) на различните дървесни видове се различават. При работа с

посочените по-горе секачни машини, рязането се извършва под ъгъл по-малък от 90°, поради което насичането се доближава до челното и надлъжно елементарно рязане, а получените трески се наричат „челни“. Влиянието на дървесния вид се изразява чрез твърдостта на дървесината. Експерименталната работа беше проведена с материали от бял бор, който от иглолистните видове, както беше посочено, е най-често срещан в нашата страна.

От проведения литературен обзор бяха избрани нивата на вариране на факторите, като всички са подбрани в три нива:

X_1 – 6, 10, 14 cm; X_2 – 1, 3, 5 m; X_3 – 21; 45,5; 70 kW.

3.1.5. Изходни параметри. Изходните параметри Y_P са избрани в съответствие с предмета на изследване и са представени с основните показатели на изследвания процес:

Y_1 – часова производителност, m³/h;

Y_2 – скорост на подаване, m/s.

Y_3 – специфична производителност, m³/h.kW;

Y_4 – специфични разходи, лв./m³.

3.1.6. Място и условия за провеждане на изследването

В **обект № 1** са проведени опити с мобилна дискова секачна машина Schliesing 200 MX, която има диск с диаметър 660 mm и дебелина 30 mm и два режещи ножа. Снабдена е с дизелов двигател KUBOTA с мощност 21 kW. Изследването се провежда на територията на ТП ДЛС „ВИТОШКО – СТУДЕНА“.

В **обект № 2** е използвана мобилна барабанна секачна машина Vermeer BC 1000 XL. Барабанът е с размери 50,8 cm x 50,8 cm, с два режещи ножа. Снабдена е с дизелов двигател Cummins B3.3L Turbo Tier 4i с мощност 55 kW. Изследването се провежда на територията на ТП ДГС „Разлог“.

В **обект № 3** изследванията се провеждат с барабанна секачна машина Heizohack HM 6-300 EM. Диаметърът на барабана е 450 mm. Снабдена е с електродвигател с мощност 55 kW. Изследването се провежда на територията на ТП ДГС „Тетевен“.

В **обект № 4** е използвана мобилна дискова секачна машина Bruks 850 M. Дискът е с диаметър 980 mm с два режещи ножа. Секачната машина се задвижва от ВОМ-а на трактор БЕЛАРУС 952.4 и е с мощност 70kW. Изследването се провежда на територията на УОГС „Г. Ст. Аврамов“ – Юндола.

В обект № 5 насичането на материалите се извършва с мобилна дискова секачна машина Wallenstein BX 62 R. Тя има диск с диаметър 762 mm с четири режещи ножа. Секачната машина се задвижва от ВОМ-а на трактор БЕЛАРУС 82.1 с мощност 55 kW. Изследването се провежда на територията на ТП ДГС „Смолян“.

Всички опити се извършват с материали от бял бор, добити от отгледни сечи и групирани по съответните дължини и диаметри на материалите.

3.1.7. Методи и средства за измерване. За определяне на фракционния състав на технологичните трески за всяка група материали бяха взети проби. Вземането на проби от терена при провеждането на експериментите, както и вземането на лабораторни проби се провежда по стандартите за производство на целулоза, производство на ПДЧ/ПДВ и по стандарт за вземане на проби за твърди биогорива. Използват се съответно стандартите: БДС 8586:1989, БДС 8587:1976, БДС EN ISO 14780:2017 и БДС EN ISO 17225-4:2014.

3.1.8. План на изследването. Планът на експеримента е от типа 3^m , където m е броят на факторите. Реализират се всички възможни комбинации на три нива и броят на опитите е $N = 3^m$. Изследва се влиянието на дължината и диаметъра на материалите върху производителността на различните секачни машини.

Проверката за влиянието на отделните фактори се определя чрез многофакторен дисперсионен анализ, който е особено ефективен при изследване на едновременното влияние на няколко фактора или групи фактори.

Особено важен при него е фактът, че в много случаи може да не се провеждат паралелни наблюдения, а да се реализира само по едно наблюдение за всяка комбинация от стойности или нива на изследваните фактори.

Определя се общата дисперсия и остатъчната дисперсия с цел проверка на значимостта на факторите.

За провеждане на регресионния анализ при планирания експеримент се използват планове, които са еднакви по вида си за модели с еднаква структура.

Кодирането на реалните фактори от явен вид в техния кодиран вид се извършва по следната формула:

$$X_{i=} \frac{\widetilde{X}_i - X_{i0}}{\lambda_i}, \quad (3.20)$$

където:

$\widetilde{X}_i$ е текущата стойност на фактора, която искаме да кодираме,

$X_{i0} = \frac{X_{imax} - X_{imin}}{2} + X_{imin}$ е основното ниво на фактора (средата на интервала);

$\lambda_i = X_{imax} - X_{i0}$ е интервалът на изменение или половината интервал (полуинтервал).

След кодирането новите фактори X_i се изменят в интервала от -1 до +1.

Кодираните фактори при проведения експеримент представляват съответно:

$\widetilde{X}_1$ – диаметър на материалите, cm;

$\widetilde{X}_2$ – дължина на материалите, m.

Използва се стъпков регресионен анализ, като се започва от пълно квадратно уравнение за двата фактора X_1 и X_2 от вида:

$$Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2. \quad (3.21)$$

С програмата CranR се определя най-подходящият модел за всяка от изследваните машини. Като основание за това се използва критерият AIC (Akaike's Information Criterion), според който моделът с по-малък критерий AIC е по-подходящ и достатъчно опростен от гледна точка на стъпковия регресионен анализ (Crawley 2007).

Освен влиянието на двата фактора – дължина и диаметър на материалите, изследва се влиянието и на трети фактор – мощността на задвижващия механизъм, върху производителността на секачната машина. Планът на експеримента при многофакторния регресионен анализ с три фактора е от същия тип 3^m , където $m = 3$ е броят на факторите. Кодираните фактори са съответно:

$\widetilde{X}_1$ – диаметър на материалите, cm;

$\widetilde{X}_2$ – дължина на материалите, m;

$\widetilde{X}_3$ – мощност на машините, kW.

Пълното квадратно уравнение за определяне влиянието на трите фактора X_1 , X_2 и X_3 има следния вид:

$$Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2. \quad (3.22)$$

За да се определи кой е най-подходящият модел се използва стъпковият регресионен анализ.

Въз основа на разширената матрица на модела се задават различни модели на програмите CranR и STATISTICA и се определя най-подходящият от тях.

3.2. Оптимизиране процеса на насичане на дребноразмерната дървесина

Получените математически модели, които изразяват влиянието на изследваните фактори върху производителността на разглежданите секачни машини, се представят като 3D графики, от които се вижда повърхнината на отклика и влиянието на факторите. С помощта на линиите на еднакъв отклик за целевата функция е извършена графична оптимизация, като са определени границите на факторите, при които производителността е най-голяма.

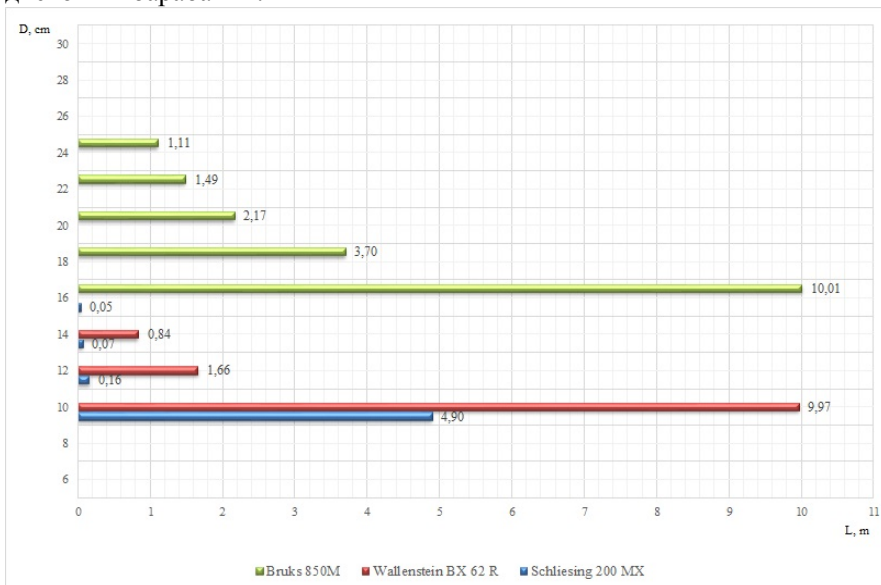
Въвеждат се понятията „специфична производителност” и „специфични разходи“. Специфична производителност се получава като се раздели часовата производителност на дадената секачна машина, при насичане на дребноразмерна дървесина с определени размери, на мощността на задвижващия механизъм. Специфичните разходи, от своя страна, се определят като се раздели себестойността на една машиносмяна за съответна секачна машина на сменната ѝ производителност.

Оптимизиране на процеса на насичане на дървесината се постига при максимална специфична производителност и минимални специфични разходи, които се получават с дадена секачна машина.

ГЛАВА IV. РЕЗУЛТАТИ ОТ ИЗСЛЕДВАНИЯТА

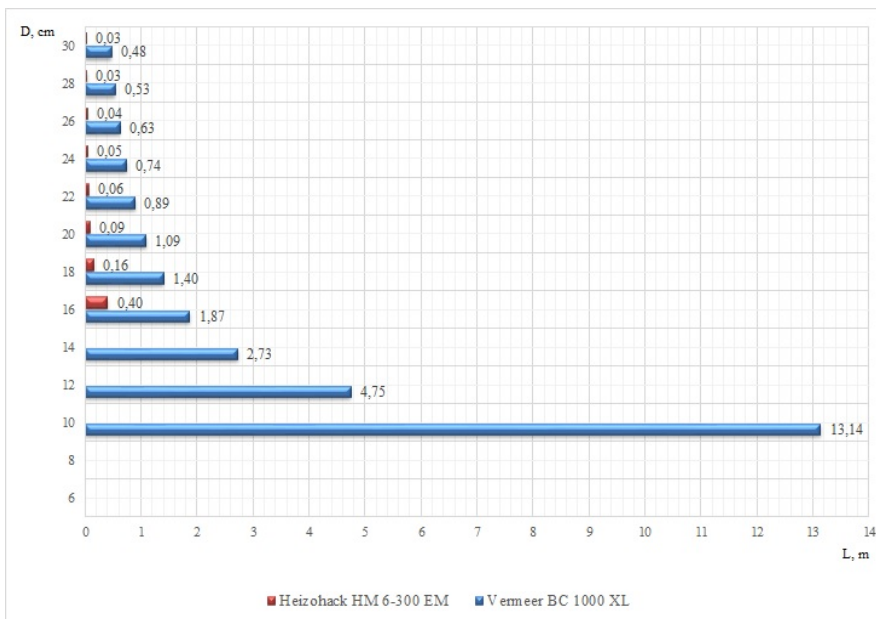
4.1. Анализ на резултатите от теоретичното изследване за определяне на максимално допустимата дължина на материалите

Резултатите от изследването са представени графически на фиг. 4.1 и 4.2, където машините са разделени според вида на секачния механизъм на дискови и барабанни.



Фиг. 4.1. Максимално допустима дължина (L) в зависимост от диаметъра на материалите (D) при работа с дискови секачни машини

От графиките се вижда, че с намаляване на диаметъра на материалите, независимо от вида на използваните машини, допустимата дължина на подлежащите на насичане материали се увеличава. При раздробяване на материали с диаметър по-малък от 10 cm допустимата дължина нараства чувствително и може да надхвърли дори височината на дърветата, добивани при отгледни сечи, което означава, че не е необходимо предварително разкрояване на стъблата.



Фиг. 4.2. Максимално допустима дължина (L) в зависимост от диаметъра на материалите (D) при работа с барабани секачни машини

От графиките се вижда, че при различните машини допустимата дължина на материалите е различна, което зависи основно от масовия инерционен момент съответно на диска или барабана, честотата на въртене на последните в началото на рязане и след насичане на дървесината и мощността на двигателя.

4.2. Експериментално изследване върху процеса на насичане на бялборов дребноразмерна дървесина с мобилни секачни машини

4.2.1. Качествени показатели на получените технологични трески за производство на дървесни плочи и целулоза

Обект № 1

По отношение на стандартите за целулоза и ПДЧ и ПДВ в обект № 1 се установи, че с увеличаване на дължината на материалите едрата фракция намалява поради това, че броят на сортиментите/частите в единица обем е

по-малък, което се потвърждава и от литературния обзор. При диаметър на материалите 14 cm и дължина 5 m се наблюдава намаляване на нормалната фракция, което се дължи на по-малката мощност на секачната машина и наличието на стрес контрол, който прекъсва подаването на материалите. Най-голям относителен дял на треските от нормалната фракция и при двата стандарта се получава при раздробяване на материали с дължина 3 m и диаметър 10 cm, което е оптимално за тази секачна машина (Schliesing 200 MX).

Обект № 2

В обект № 2 при определяне на фракционния състав на треските се установи, че с увеличаване на дължината и диаметъра на материалите, процентът на едрата фракция намалява. Поради наличието на автоматичен стрес контрол на машината и честото му активиране и прекъсване на процеса на рязане се влошава качеството на треските. Вижда се, че при материали с дължина 3 m и диаметър 10 cm, което е оптималният размер на материалите за тази секачна машина (Vermeer BC1000 XL), относителният дял на нормалната фракция е най-голям.

Обект № 3

В обект № 3 и при двата използвани стандарта се наблюдава липсата на едра фракция или ако има, тя е под 1%. Това се дължи на наличието на сито в секачната машина. При стандарта за целулоза се установи увеличаване на процента на нормалната фракция с увеличаване на дължината и диаметъра на материалите. При ситната фракция и стърготините с увеличаване дължината на материалите се намалява процентното им участие. Това се дължи на постоянната работа на задвижването, без прекъсване на подаването, което дава основание да се направи изводът, че барабанната секачна машина Heizohack HM 6-300 EM работи оптимално и при материали с дължина 5 m и диаметър 14 cm.

Обект № 4

Проведените експерименти в обект № 4 са със секачната машина Bruks 850 M, която се задвижва с трактор с мощност на двигателя 70 kW. Беше установено, че и за двата стандарта с увеличаване на дължината на насичаните материали количеството на едрата фракция намалява. Нормалната фракция се увеличава за сметка на останалите три фракции, като стърго-

тини почти липсват. По отношение на диаметъра на материалите при стандарта за ПДЧ и ПДВ се наблюдава по-голям процент на едрата фракция и известно намаляване на нормалната фракция с увеличаване на диаметъра на материалите. Това се дължи на обстоятелството, че тези дървени материали бяха добити от периферията на насаждението – от дървета с по-широки корони и по-дебели клони (по-голям брой чепове), което се отрази негативно на фракционния състав. Както и в предния обект, така и в този, косвено може да се каже, че оптималните размери на раздробяваните материали са дължина 5 m и диаметър 14 cm. Фракционираните проби от този обект напълно покриват изискванията на стандартите за технологични трески за целулоза, за ПДЧ и ПДВ.

Обект № 5

В обект № 5 по стандарта за целулоза нормалната фракция на технологичните трески намалява с увеличаване дължината на материалите, което се дължи на по-малката мощност на двигателя на машината и отсъствието на автоматичен стрес контрол. Спирането и възстановяването на подаването на материалите ставаше ръчно от работника, който обслужва секачната машина. По отношение на диаметъра на материалите се наблюдава увеличаване на нормалната фракция с увеличаване на диаметъра. Прекалено големият процент на ситните трески се дължи отново на честото прекъсване на подаването поради претоварване с увеличаване на размерите на материалите. Фракционният състав на технологичните трески от този обект не отговаря на изискванията на двата стандарта.

4.2.2. Качествени показатели на получените трески за производство на твърди биогорива

Фракционният състав на технологичните трески беше определен според стандарта за твърди биогорива БДС EN ISO 17225-4:2014. Поради голямото влияние на дължината на материалите върху фракционния състав на треските са проведени изследвания с всички дължини, при среден диаметър от 10 cm.

При дисковата секачна машина Schliesing 200 MX фракционният състав на технологичните трески (табл. 4.1) при раздробяване на материали с дължина 1 и 3 m не покриват изискванията на стандарта за клас P16 поради големия процент на грубата фракция. Треските, добити от материали с дължина 5 m отговарят на стандарта и покриват изискванията за клас P16.

Таблица 4.1. Фракционен състав на треските изпитвани за твърди биогорива

Секачни машини	Параметър	Дименсия, m	> 63 mm	63 – 45 mm	45 – 16 mm	16 – 8 mm	8 – 3,15 mm	< 3,15 mm
Schliesing 200 MX	Дължина	1	0.0	9.6	6.7	32.8	49.0	1.9
		3	0.0	2.5	9.1	54.0	31.5	2.9
		5	0.0	2.3	3.2	37.8	51.5	5.2
Vermeer BC 1000 XL	Дължина	1	1.3	11.6	5.6	34.6	40.5	6.4
		3	0.0	7.6	2.8	31.7	50.6	7.3
		5	0.0	4.3	2.5	27.2	58.4	7.6
Heizohack HM 6-300 EM	Дължина	1	0.0	1.2	1.4	40.3	48.2	8.9
		3	0.0	0.2	2.1	45.3	43.9	8.5
		5	0.0	0.4	1.6	41.0	50.3	6.7
Wallenstein BX 62 R	Дължина	1	1.5	5.3	12.9	23.8	48.5	8.0
		3	0.7	2.4	4.9	23.9	58.1	10.0
		5	0.3	3.1	6.2	25.4	54.1	10.9

За същия клас P16, при раздробяване на материалите с барабанна секачна машина Vermeer BC 1000 XL, изискванията на стандарта за всяка от дължините не бяха изпълнени – грубата фракция надхвърля 6%.

При секачна машина Heizohack HM 6-300 EM може да се види, че независимо от размера на материалите, изискванията на клас P16 са напълно изпълнени, което се дължи на наличието на сито в машината.

Треските, добити с дискова секачна машина Wallenstein BX 62 R не отговарят на изискванията на клас P16 за енергийни нужди, поради високия процент на едрата фракция.

Фракционният състав на треските, добити с изследваните машини, напълно отговарят на изискванията на клас P45 на стандарта, независимо от дължината на материалите. От табл. 4.1 се установява, че при раздробяване на материали със секачната машина Vermeer BC 1000 XL изискванията на клас P45 са изпълнени само за материали с дължина 3 и 5 m.

За всеки един от обектите беше направен анализ и на количеството кора в технологичните трески при отделните фракции. Определено беше влиянието на диаметъра на материалите, тъй като дължината им не влияе върху количеството на кората.

След направения анализ може да се каже, че с увеличаване диаметъра на материалите, процентът на кората в технологичните трески намалява. Потвърждават се резултати от предишни изследвания за това, че при раздробяване на прясно отсечени материали количеството на отделената от дървесината кора при самото насичане е значително, което облекчава последващото почистване на треските от кора.

4.3. Определяне скоростта на подаване и производителността на секачните машини

4.3.1. Изследване влиянието на диаметъра и дължината на материалите върху производителността на изследваните секачни машини

Съобразно методиката на експеримента, за всяка една от използваните машини беше изследвано влиянието на факторите дължина (L) и диаметър (D) на материалите върху производителността на секачните машини. За целта беше проведен планиран експеримент от типа 3^m , където $m = 2$ е броят на факторите.

Таблица 4.3. Основно ниво и интервали на изменение на факторите при определяне на производителността на секачните машини

	D , cm	L , m
Кодиран фактор	X_1	X_2
Основно ниво ($X_i = 0$)	10	3
Интервал на изменение	4	2
Горно ниво ($X_i = 1$)	14	5
Долно ниво ($X_i = -1$)	6	1

Съгласно методиката беше извършена проверка за еднородността на дисперсиите чрез критерия на Фишер. След направения дисперсионен анализ проверката показва, че факторите са значими и оказват влияние върху крайните стойности. След проверката експерименталните данни бяха обработени със статистически програми CranR и STATISTICA.

4.3.1.1. Определяне производителността на дискова секачна машина Schliesing 200 MX

Таблица 4.4. Производителност на дискова секачната машина Schliesing 200 MX

Вида на функцията ($\bar{Y}_i$)	$\bar{Y}_1$	$\bar{Y}_2$	$\bar{Y}_3$	$\bar{Y}_4$	$\bar{Y}_5$	$\bar{Y}_6$	$\bar{Y}_7$	$\bar{Y}_8$	$\bar{Y}_9$	$\bar{Y}$
Производителност, m ³ /h	4,3	4,7	4,5	4,0	7,5	4,7	3,0	4,9	3,7	4,6

За определяне оценките на регресионните коефициенти в модела (3.21), експерименталните данни бяха обработени с програма STATISTICA.

Пълният регресионен модел описва най-добре целевата функция и има най-добри предсказващи стойности. За дисковата секачна машина Schliesing 200 MX той има следния вид:

$$Y = 6,52 + 0,26x_1 - 0,33x_2 + 0,11x_1x_2 - 1,68x_1^2 - 1,23x_2^2. \quad (4.1)$$

При проведения стъпков регресионен анализ с програмата CranR беше установено, че моделът, който е най-подходящ, има следния вид:

$$Y = 6,52 - 0,33x_2 - 1,68x_1^2 - 1,23x_2^2. \quad (4.3)$$

Резултатите от регресионния анализ показват, че най-голямо влияние върху производителността на секачната машина Schliesing 200 MX оказва дължината на материалите, а след това – техният диаметър, тъй като регресионният коефициент пред фактора дължина на материалите е по-голям.

4.3.1.2. Определяне производителността на барабанна секачна машина Vermeer BC 1000 XL

Таблица 4.7. Производителност на барабанна секачна машина Vermeer BC 1000 XL

Вида на функцията ($\bar{Y}_i$)	$\bar{Y}_1$	$\bar{Y}_2$	$\bar{Y}_3$	$\bar{Y}_4$	$\bar{Y}_5$	$\bar{Y}_6$	$\bar{Y}_7$	$\bar{Y}_8$	$\bar{Y}_9$	$\bar{Y}$
Производителност, m ³ /h	4,7	10,5	11,4	4,6	9,0	9,7	3,9	6,9	7,5	7,6

Пълният регресионен модел, който описва най-добре целевата функция и има най-добри предсказващи стойности за производителността на барабанна секачна машина Vermeer BC 1000 XL има следния вид:

$$Y = 8,98 + 2,57x_1 - 1,38x_2 - 0,78x_1x_2 - 1,82x_1^2 - 0,29x_2^2. \quad (4.4)$$

При проведения стъпков регресионен анализ с програмата CranR беше установено, че моделът, който е най-подходящ да опише Y , има следния вид:

$$Y = 8,78 + 2,57x_1 - 1,38x_2 - 0,78x_1x_2 - 1,82x_1^2. \quad (4.6)$$

Резултатите показват, че по-голямо влияние върху производителността на секачната машина Vermeer BC 1000 XL оказва диаметърът на материалите, а след това тяхната дължина. Регресионният коефициент пред фактора диаметър на материалите е по-голям по абсолютна стойност, отколкото коефициентът пред фактора дължина на материалите.

4.3.1.3. Определяне производителността на барабанна секачна машина Heizohack HM 6-300 EM

Таблица 4.10. Производителност на барабанна секачна машина Heizohack HM 6-300 EM

Вида на функцията ($\bar{Y}_i$)	$\bar{Y}_1$	$\bar{Y}_2$	$\bar{Y}_3$	$\bar{Y}_4$	$\bar{Y}_5$	$\bar{Y}_6$	$\bar{Y}_7$	$\bar{Y}_8$	$\bar{Y}_9$	$\bar{Y}$
Производителност, m ³ /h	2,6	8,2	14,3	3,2	6,3	9,5	4,5	6,0	9,2	7,1

Регресионният модел, който описва най-добре функцията и има най-добри предсказващи стойности за производителността на барабанната секачна машина Heizohack HM 6-300 EM има следния вид:

$$Y = 6,09 + 3,78x_1 - 0,89x_2 - 1,76x_1x_2 + 0,36x_1^2 + 1,11x_2^2. \quad (4.7)$$

След извършен стъпков регресионен анализ с програмата CranR на база критерия AIC (Akaike's Information Criterion) беше установено, че най-подходящият модел е:

$$Y = 6,33 + 3,78x_1 - 0,89x_2 - 1,76x_1x_2 + 1,11x_2^2. \quad (4.9)$$

Резултатите от регресионния анализ показват, че върху производителността на секачната машина Heizohack HM 6-300 EM по-голямо влияние

оказва диаметърът на материалите а след това тяхната дължина. Регресионният коефициент пред фактора диаметър на материалите е по-голям по абсолютна стойност, отколкото коефициентът пред фактора дължина на материалите.

4.3.1.4. Определяне производителността на дискова секачна машина Bruks 850 M

Таблица 4.13. Производителност на дискова секачна машина Bruks 850 M

Вида на функцията ($\bar{Y}_i$)	$\bar{Y}_1$	$\bar{Y}_2$	$\bar{Y}_3$	$\bar{Y}_4$	$\bar{Y}_5$	$\bar{Y}_6$	$\bar{Y}_7$	$\bar{Y}_8$	$\bar{Y}_9$	$\bar{Y}$
Производителност, m ³ /h	4,6	10,4	14,6	5,7	13,5	19,9	4,5	12,6	13,5	11,0

Регресионният модел, който описва най-добре изменението на производителността на дисковата секачна машина Bruks 850 M, има следния вид:

$$Y = 14,16 + 5,52x_1 + 0,18x_2 - 0,24x_1x_2 - 1,72x_1^2 - 2,99x_2^2. \quad (4.10)$$

Чрез стъпков регресионен анализ с програмата CranR беше установено, че най-подходящият модел е:

$$Y = 14,16 + 5,52x_1 - 1,72x_1^2 - 2,99x_2^2. \quad (4.12)$$

Резултатите от регресионния анализ показват, че по-голямо влияние върху производителността и на секачната машина Bruks 850 M оказва диаметърът на материалите, а след това тяхната дължина. Регресионният коефициент пред фактора диаметър на материалите е значително по-голям по абсолютна стойност, отколкото коефициентът пред фактора дължина на материалите.

4.3.1.5. Определяне производителността на дискова секачна машина Wallenstein BX 62 R

**Таблица 4.16. Производителност на дискова секачна машина
Wallenstein BX 62 R**

Вида на функцията ($\bar{Y}_i$)	$\bar{Y}_1$	$\bar{Y}_2$	$\bar{Y}_3$	$\bar{Y}_4$	$\bar{Y}_5$	$\bar{Y}_6$	$\bar{Y}_7$	$\bar{Y}_8$	$\bar{Y}_9$	$\bar{Y}$
Производителност, m^3/h	2,6	4,9	10,4	3,4	7,6	3,3	2,6	4,1	3,2	4,6

Пълният регресионен модел на функцията за определяне производителността на дисковата секачна машина Wallenstein BX 62 R има следния вид:

$$Y = 5,61 + 1,38x_1 - 1,32x_2 - 1,81x_1x_2 - 1,31x_1^2 - 0,13x_2^2. \quad (4.13)$$

Чрез стъпков регресионен анализ с помощта на програмата CranR беше установено, че най-подходящ е моделът:

$$Y = 5,52 + 1,38x_1 - 1,32x_2 - 1,81x_1x_2 - 1,31x_1^2. \quad (4.15)$$

Резултатите от регресионния анализ показват, че и при тази секачна машина по-голямо влияние върху производителността оказва диаметърът на материалите, а след това тяхната дължина, което се дължи на това, че коефициентът пред фактора диаметър на материалите е по-голям по абсолютна стойност, отколкото коефициентът пред фактора дължина на материалите.

4.3.2. Изследване влиянието на диаметъра на материалите, дължината на материалите и мощността на двигателя на секачната машина върху производителността при наси- чането на дребноразмерна дървесина от отгледни сечи

Съгласно методиката беше проведен планиран експеримент за определяне влиянието на факторите диаметър на материалите (D), дължина на материалите (L) и мощност на секачната машина ($N_{\text{дв}}$) върху производителността. За целта беше използван план от типа 3^m , където $m = 3$ е броят на факторите.

Таблица 4.19. Основно ниво и интервали на изменение на факторите при определяне на производителността на секачната машина

	$D, \text{ cm}$	$L, \text{ m}$	$N_{\text{дв}}, \text{ kW}$
Кодиран фактор	X_1	X_2	X_3
Основно ниво ($X_i = 0$)	10	3	45,5
Интервал на изменение	4	2	24,5
Горно ниво ($X_i = 1$)	14	5	70
Долно ниво ($X_i = -1$)	6	1	21

За описание на функцията на отклика за производителността беше проведен стъпков регресионен анализ, за което беше използван полином от втора степен от вида (3.22). Експерименталните данни бяха обработени с програма STATISTICA.

Пълният регресионен модел, който описва най-добре целевата функция – производителността на секачната машина, има следния вид:

$$Y = 5,99 + 2,15x_1 - 0,74x_2 + 3,22x_3 - 0,90x_1x_2 + 2,34x_1x_3 - 0,01x_2x_3 - 1,23x_1^2 - 0,71x_2^2 + 3,10x_3^2. \quad (4.16)$$

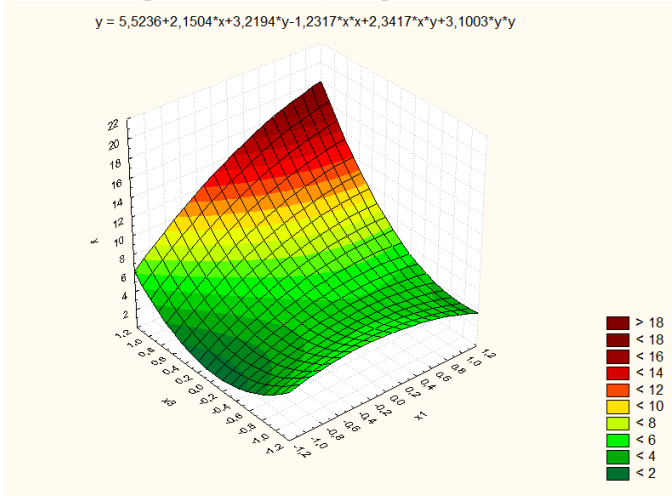
Въз основа на проведения стъпков регресионен анализ с програмата StanR беше установено, че най-подходящият е моделът:

$$Y = 5,99 + 2,15x_1 - 0,75x_2 + 3,22x_3 - 0,90x_1x_2 + 2,34x_1x_3 - 1,23x_1^2 - 0,71x_2^2 + 3,10x_3^2. \quad (4.18)$$

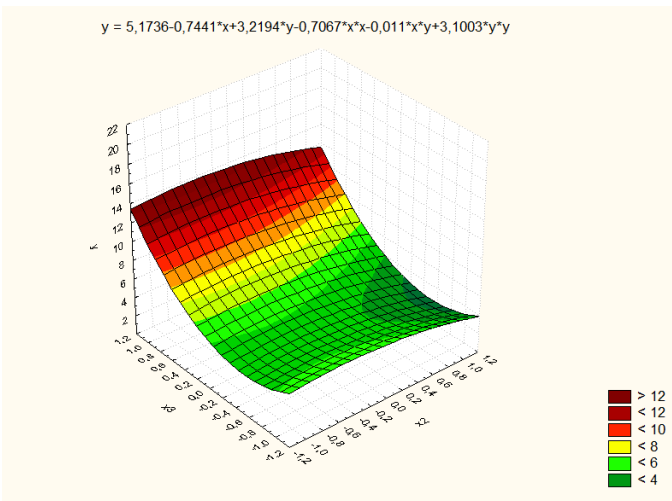
Резултатите от регресионния анализ показват, че най-голямо влияние върху производителността при насичането на дребноразмерна дървесина оказва мощността на секачната машина, след това диаметърът на материалите и най-малко влияние оказва дължината на раздробяваните материали. Регресионният коефициент пред фактора мощност на секачните машини е най-голям по абсолютна стойност, следван от коефициента пред фактора диаметър на материалите и най-нисък е коефициентът пред фактора дължина на материалите.

Тъй като вече беше изследвано влиянието на факторите дължина и диаметър на материалите върху производителността на секачната машина, на фиг. 4.44 и 4.46 са показани съответно повърхнината на отклика

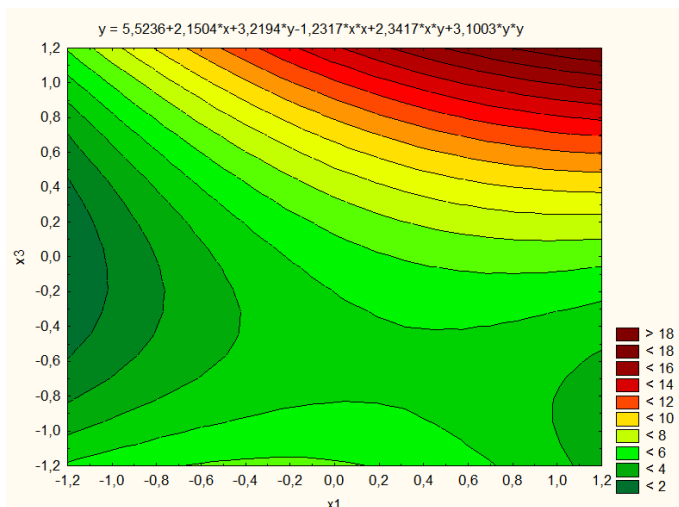
$Y=f(x_1x_3)$ и $Y=f(x_2x_3)$, както и линиите на еднакъв отклик $f(x_1x_3) = Y = \text{const}$ и $f(x_2x_3) = Y = \text{const}$ (фиг. 4.45 и 4.47) според мощността.



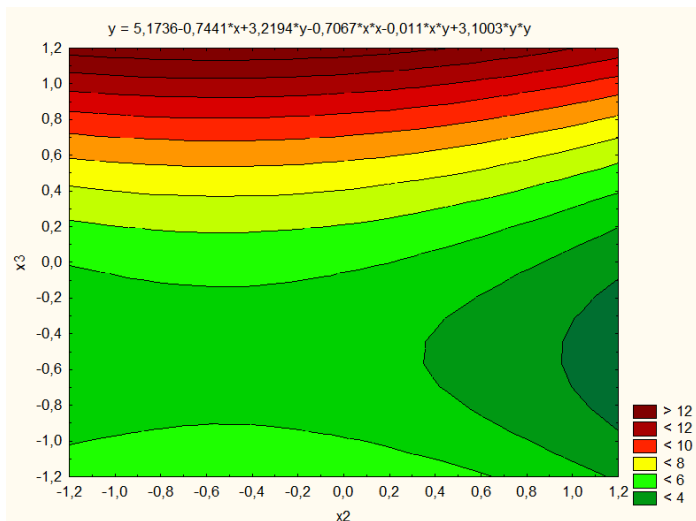
Фиг. 4.44. Повърхнина на отклика $Y=f(x_1x_3)$ за производителността на секач-ната машина в зависимост от диаметъра на материалите (x_1) и мощността (x_3)



Фиг. 4.45. Повърхнина на отклика $Y=f(x_2x_3)$ за производителността на секач-ната машина в зависимост от дължината на материалите (x_2) и мощността (x_3)



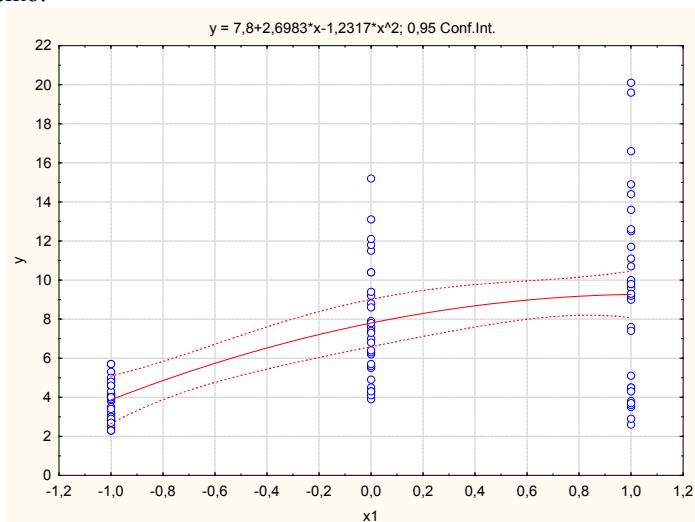
Фиг. 4.46. Линии на еднакъв отклик $f(x_1, x_3) = Y = \text{const}$ за производителността на секачната машина в зависимост от диаметъра на материалите (x_1) и мощността (x_3)



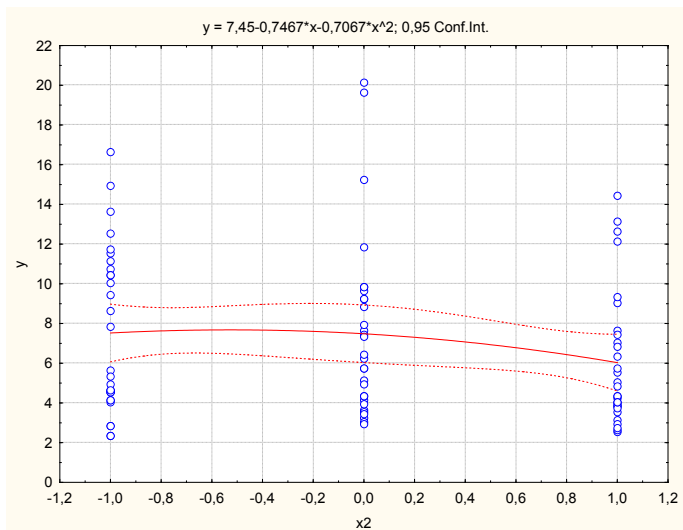
Фиг. 4.47. Линии на еднакъв отклик $f(x_2, x_3) = Y = \text{const}$ за производителността на секачната машина в зависимост от дължината на материалите (x_2) и мощността (x_3)

От фиг. 4.44 и 4.46 се вижда, че повърхнината на отклика и линиите на еднакъв отклик имат максимум при диаметър от 12 до 14 cm (x_1 от 0,5 до 1,0) и при мощност 70 kW ($x_3 = 1,0$). Максимална производителност се постига при насичане на дървесина с диаметър от 12 до 14 cm и мощност на секачната машина 70 kW.

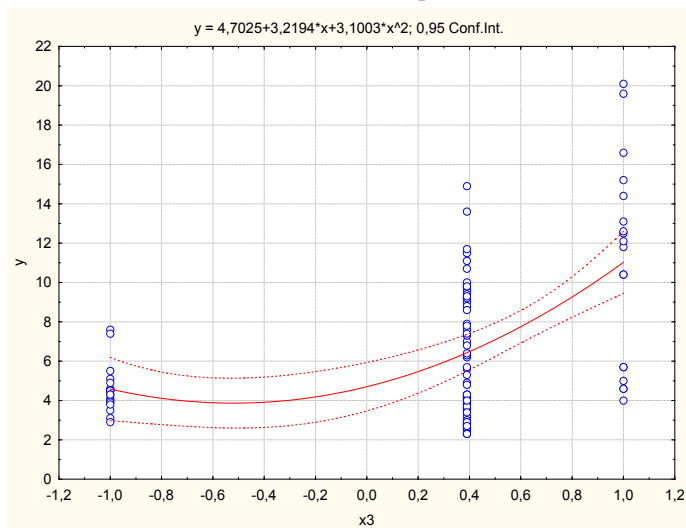
При анализа на резултатите за влиянието на факторите дължина на материалите и мощност на секачната машина, от фиг. 4.45 и 4.47 се вижда, че при горно ниво на фактора мощност – 70 kW ($x_3 = 1,0$) повърхнината на отклика има максимум при дължина на раздробяваните материали около 3 m и като цяло влиянието на дължината при горното ниво на мощността е по-малко.



Фиг. 4.48. Зависимост между производителността на секачната машина и диаметъра на материалите



Фиг. 4.49. Зависимост между производителността на секачната машина и дължината на материалите



Фиг. 4.50. Зависимост между производителността на секачните машини и тяхната мощност

От фиг. 4.48 се вижда, че с увеличаване на диаметъра на материалите, при постоянна дължина 3 m и средна мощност на секачната машина 45,5 kW, производителността нараства и достига своя максимум при раздробяване на материали с диаметър 14 cm ($x_1 = 1,0$).

От фиг. 4.48 става ясно също, че степента на нарастване на производителността е различна. С увеличаване на диаметъра на материалите от 6 до 10 cm (x_1 от -1,0 до 0,0) производителността на секачната машина се увеличава почти двойно – с 95%, а с по-нататъшното увеличаване на диаметъра от 10 до 14 cm (x_1 от 0,0 до 1,0) степента на нарастване на производителността е по-малка – 18%, което се дължи на ограничената мощност – средната за интервала.

На фиг. 4.49 е показано влиянието на дължината на насичаните материали върху производителността при постоянен диаметър 10 cm и постоянна мощност на секачната машина 45,5 kW. От фигурата се вижда, че с увеличаване на дължината на материалите от 1 до 3 m (x_2 от -1,0 до 0,0), производителността на секачната машина не се променя съществено, но при по-нататъшното увеличаване на дължината на материалите тя намалява. Причината за това е, че при насичане на по-дълги материали от 3 m двигателят на секачната машина при тази мощност – 45,5 kW, се претоварва, в резултат на което намалява честотата на въртене на диска или барабана, а оттам намалява и производителността на секачната машина (фиг. 4.49).

Анализът на данните от фиг. 4.50 показва, че с увеличаване мощността на двигателя на секачната машина, при постоянна дължина на материалите 3 m и диаметър 10 cm, производителността се увеличава и достига своя максимум в горно ниво на фактора мощност – 70 kW ($x_3 = 1,0$). От фигурата се вижда също, че с увеличаване на мощността от 21 до около 35 kW ($x_3 = -0,4$), производителността не се променя, което показва, че в този интервал тя не е достатъчна за постигане на по-висока производителност при насичане на материали с посочените по-горе размери. При по-нататъшно увеличаване на мощността до 70 kW (x_3 от -0,4 до 1,0), производителността нараства от 4,7 на 11,0 m³/h. Тези резултати позволяват да се направи изводът, че за постигане на по-висока производителност мощността трябва да бъде по-голяма от 35 kW. При мощност 70 kW най-висока производителност се постига при размери на насичане на материали с диаметър 14 cm и дължина 3 m.

Получените резултати логично показват, че с увеличаване на мощността се увеличава производителността, но едновременно с това трябва да се има предвид, че секачните машини с по-висока мощност имат и по-високи цени. Следователно въпросът доколко е икономически оправдано използването на секачни машини с голяма мощност за насичане на дребноразмерна дървесина, е актуален.

4.4. Оптимизиране процеса на насичане на дървесината – определяне на подходящи по вид и мощност/цена секачни машини, съобразно размерите на материалите

4.4.1. Определяне на специфичната производителност на секачната машина

За определяне на подходящите по вид и мощност/цена секачни машини беше използвана специфичната производителност. Тя беше определена съгласно методиката по формула (3.23) за всяка група материали. Експерименталните данни бяха обработени с програмата STATISTICA.

Пълният регресионен модел, който описва най-добре целевата функция и има най-добри предсказващи стойности за специфичната производителност на секачната машина, е:

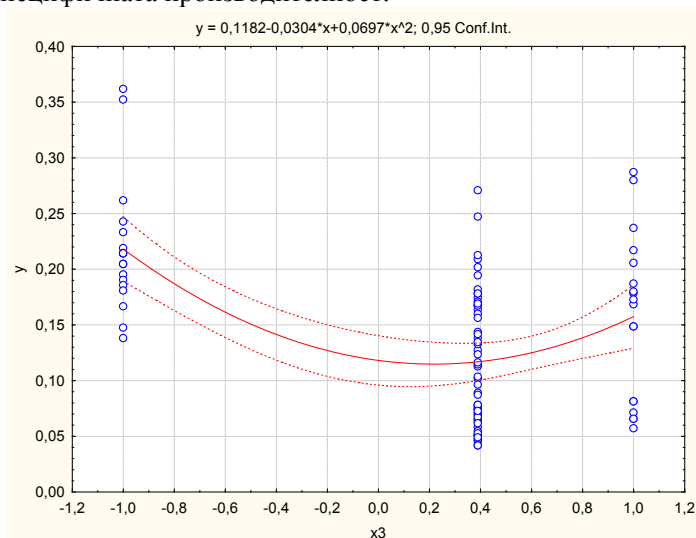
$$Y = 0,15 + 0,04x_1 - 0,02x_2 - 0,03x_3 - 0,02x_1x_2 + 0,03x_1x_3 + 0,01x_2x_3 - 0,03x_1^2 - 0,02x_2^2 + 0,07x_3^2. \quad (4.22)$$

С помощта на стъпков регресионен анализ и програмата CranR беше установено, че влиянието на взаимодействието x_2x_3 е незначително и може да отпадне, в резултат на което най-подходящ е моделът:

$$Y = 0,151 + 0,039x_1 - 0,016x_2 + 0,030x_3 - 0,015x_1x_2 + 0,031x_1x_3 - 0,031x_1^2 - 0,018x_2^2 + 0,070x_3^2. \quad (4.24)$$

Резултатите от регресионния анализ показват, че най-голямо влияние върху специфичната производителност при насичането оказва диаметърът на материалите, след това мощността на секачната машина и най-малко влияние оказва дължината на раздробяваните материали. Регресионният коефициент пред фактора диаметър на материалите е най-голям по абсолютна стойност, следван от коефициента пред фактора мощност на секачната машина и най-нисък е коефициентът пред фактора дължина на материалите.

Тъй като вече беше изследвано влиянието на факторите дължина и диаметър на материалите върху производителността на секачната машина, на фиг. 4.55 е показано само влиянието на мощността на секачната машина върху специфичната производителност.



Фиг. 4.55. Зависимост между специфичната производителност на секачните машини и тяхната мощност

Анализът на данните от фиг. 4.55 показва, че с увеличаване мощността на двигателя на секачната машина, при постоянна дължина на материалите 3 m и диаметър 10 cm специфичната производителност намалява от 0,22 m³/h.kW и достига минимум 0,11 m³/h.kW при мощност 50 kW ($x_3 = 0,2$). При по-нататъшно увеличаване на мощността от 50 до 70 kW (x_3 от 0,2 до 1,0), специфичната производителност нараства от 0,11 на 0,16 m³/h.kW. От графиката се вижда, че максимална специфична производителност се получава при секачната машина с мощност 21 kW ($x_3 = -1,0$), което се дължи на относително високата производителност, която машината постига с тази мощност при раздробяване на материали с диаметър 10 cm и дължина 3 m. Както беше доказано по-рано, това са оптималните размери на материалите за секачната машина Schliesing 200 MX.

Намаляването на специфичната производителност и достигане на минимум при мощност приблизително равна на 50 kW ($x_3 = 0,2$) се обяснява с това, че в този интервал мощността на секачната машина нараства по-бързо, отколкото степента на увеличаване на часовата производителност. В интервала от 50 до 70 kW специфичната производителност се увеличава, което се дължи на това, че мощността на двигателя нараства с по-малка степен, отколкото се увеличава часовата производителност.

4.4.2. Определяне на специфичните разходи на секачните машини

Освен специфичната производителност бяха определени и специфичните разходи при насичане на дребноразмерна дървесина с мобилни секачни машини.

Таблица 4.27. Специфични разходи на изследваните секачни машини

	Schliesing 200 MX	Vermeer BC 1000 XL	Heizohack HM 6-300 EM	Wallenstein BX 62 R	Bruks 850 M
Себестойност на една машиносмяна, лв./м.см.	264,18	480,89	562,09	530,89	645,14
Сменна производителност, m ³ /м.см.	20,53	33,92	31,70	20,81	49,38
Специфични разходи, лв./m ³	13,60	16,25	23,13	31,32	16,93

Резултатите бяха обработени с програма STATISTICA. Пълният регресионен модел, който описва най-добре специфичните разходи и има най-добри предсказващи стойности, е от вида:

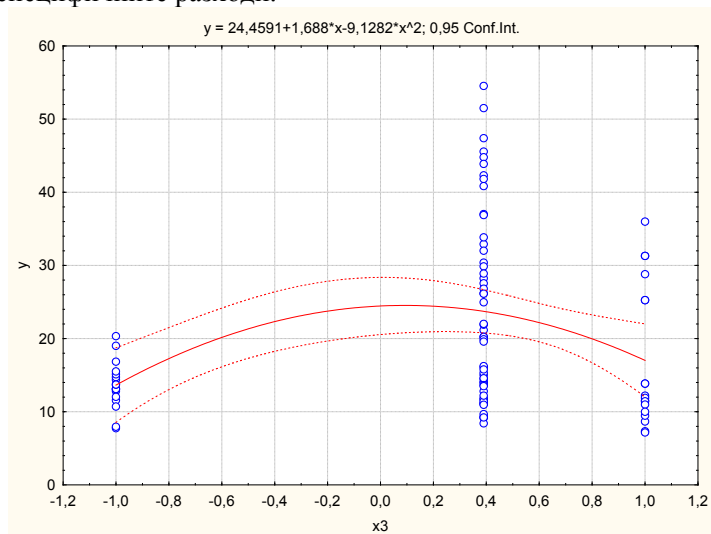
$$Y = 18,25 - 6,48x_1 + 1,48x_2 - 1,69x_3 + 2,62x_1x_2 - 4,89x_1x_3 - 0,46x_2x_3 + 7,31x_1^2 + 2,00x_2^2 - 9,13x_3^2. \quad (4.25)$$

С помощта на стъпковия регресионен анализ и програмата CranR беше установено, че коефициентите пред функциите x_2 и x_3 и пред втората степен на фактора x_2 са незначителни. След тяхното отпадане най-подходящ е моделът:

$$Y = 19,59 - 6,48x_1 + 1,37x_2 + 1,69x_3 + 2,62x_1x_2 - 4,89x_1x_3 + 7,31x_1^2 - 9,13x_3^2. \quad (4.27)$$

Резултатите показват, че най-голямо влияние върху специфичния разход оказва диаметърът на материалите, след това мощността на секачната машина и най-малко е влиянието на дължината на раздробяваните материали. Регресионният коефициент пред фактора диаметър на материалите е най-голям по абсолютна стойност, следван от коефициента пред фактора мощност на секачната машина и най-нисък е коефициентът пред фактора дължина на материалите.

На фиг. 4.56 е показано влиянието на мощността на секачните машини върху специфичните разходи.



Фиг. 4.56. Зависимост между специфичните разходи на секачните машини и тяхната мощност

От фиг. 4.56 се вижда, че изменението на специфичните разходи в зависимост от мощността на секачната машина е аналогично на изменението на специфичната производителност, но с обратен знак. Най-ниски специфични разходи при насичане на дребноразмерна дървесина се получават при секачната машина с най-малка мощност от изследваните машини. Най-високи са специфичните разходи около средата на интервала за мощността (45 – 50 kW), което се дължи на същите причини, както при специ-

фичната производителност – разлика в темповете на изменение на изследваните фактори, в т.ч. цените и мощността на секачните машини и разходите за насичане.

Поради факта, че барабанната секачна машина Heizohack HM 6-300 EM се задвижва от електродвигател, определянето на себестойността за машиносмяна беше извършено за еквивалентната на нея машина Heizohack HM 6-300 VM. Тя има същите параметри, но се задвижва от ВОМ-а на трактор със същата мощност.

ГЛАВА V. ИЗВОДИ И ПРЕПОРЪКИ

От извършените теоретични и експериментални изследвания за оптимизиране процеса на насичане на дребноразмерна дървесина от отгледни сечи с мобилни секачни машини може да се направят следните по-важни изводи:

1. Проучванията показват, че дървесината от отгледните сечи успешно може да се оползотворява като суровина за производство на енергия и за други цели, за което е необходимо предварително да се раздроби на технологични трески.

2. Проведеното изследване върху фракционния състав на технологичните трески показва, че предназначението на треските и съответните изисквания към тях по отношение на размерите и качеството им определят вида и параметрите на секачните машини, с които ще се добиват треските.

3. Установено е, че качеството на технологичните трески, добити с изследваните секачни машини, удовлетворява изискванията на БДС EN ISO 17225-4:2014 клас P45 за енергийни нужди. Поради наличието на сито барабанната секачна машина Heizohack HM 6-300 EM удовлетворява изискванията и на клас P16.

4. Определена е максимално допустимата дължина на насичаните материали, като за всяка от изследваните секачни машини са определени максималните диаметри, над които материалите трябва да се разкроят предварително на сортименти.

5. Определените по посочения по-горе начин гранични стойности на диаметъра на материалите, от гледна точка на максималната допустима дължина, позволяват да се избере подходяща секачна машина според вида и размерите на подлежащите на раздробяване материали.

6. Установено е, че с увеличаване диаметъра на материалите концентрацията на аеросместа се увеличава, но се намалява скоростта на въздушния поток, което би довело до намаляване уплътнението на треските, когато товаренето им се извършва едновременно с насичането. Възможностите на барабанните секачни машини от изследвания тип за уплътняване на треските са по-малки, отколкото на дисковите машини.

7. Изведени са многофакторни регресионни модели и е определено влиянието на факторите диаметър и дължина на материалите върху производителността на секачните машини. Определени са оптималните стойности на диаметъра и дължината на материалите, при които производителността на изследваните секачни машини е най-голяма.

8. Изследвано е влиянието на мощността на двигателя на секачните машини върху производителността при насичането и е съставен многофакторен математически модел. Установено е, че производителността на секачните машини зависи в най-голяма степен от мощността, след това от диаметъра на материалите и на последно място – от дължината им.

9. Въведени са понятията „специфична производителност на секачните машини“ и „специфични разходи за насичането“ и е извършено оптимизиране на процеса на насичане на дребноразмерна дървесина с мобилни секачни машини.

10. Установено е, че най-голяма специфична производителност при насичане на материали с разглежданите параметри и със секачните машини, обект на изследването, се получава при машини с мощност 21 – 30 kW. Въз основа както на специфичната производителност, така и на специфичните разходи за насичане, раздробяването на дребноразмерната дървесина от отгледни сечи, чийто среден диаметър е около 10 cm, е най-подходящо да се извършва със секачни машини с мощност 20 – 30 kW.

11. Проведените теоретични и експериментални изследвания, изведените зависимости и направените изводи позволяват насичането на дребноразмерната дървесина от отгледни сечи да се извърши с подходящо оборудване и с най-малки разходи.

В резултат на проведените изследвания за оптимизиране процеса на насичане на дребноразмерна дървесина с мобилни секачни машини, може да се направят следните по-обща препоръки:

1. В зависимост от предназначението на технологичните трески и фракционния състав, на който те трябва да отговарят, да се използват/избират

подходящи по вид секачни машини, за което проведените изследвания са подходящи.

2. При избиране на дърводобивната технология при отгледните сечи и по-конкретно за избягване на кастренето на клоните и разкройването на стъблата, с цел намаляване на разходите, може да се използват резултатите за максималната допустима дължина на материалите при различните секачни машини.

3. За определяне производителността при насичането на дребноразмерна дървесина от отгледни сечи в насаждения от бял бор, може да се използват изведените математически модели, с помощта на които може да се определят и разходите за крайния продукт.

4. В зависимост от размерите на подлежащите за насичане материали от отгледните сечи да се използват подходящи по мощност секачни машини, за което настоящата разработка е добра основа.

5. За намаляване на разходите за насичането, особено при по-голяма концентрация на дървесина на временните складове, е подходящо да се използват мобилни секачни машини с автономно задвижване. С оглед намаляване тежестта на труда и на другите неблагоприятни въздействия при ръчното подаване на материалите, както и при работа на временни складове с малки товарообороти, насичането да се извършва с мобилни секачни машини, задвижвани от трактор – с помощта на BOM, които са снабдени с товароподемен манипулатор.

СПРАВКА ЗА ПРИНОСИТЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Извършените в дисертационния труд теоретични и експериментални изследвания дават основание да се формулират следните по-важни приноси:

Научни приноси

1. Опитно са потвърдени теоретичните изводи за влиянието на размерите на материалите върху фракционния състав на технологичните трески и са определени качествените показатели на треските, добити с дискови и с барабанни секачни машини.

2. Направена е оценка на пригодността на технологичните трески, добити с помощта на изследваните секачни машини, от гледна точка на възможностите за използването им не само за твърди биогорива, но също за производство на целулоза и дървесни плочи.

3. Разработена е методика и са проведени сравнителни изследвания, като са определени параметрите на въздушния поток на дискови и барабанни секачни машини и са изяснени възможностите за увеличаване коефициента на уплътняване на технологичните трески с цел намаляване на транспортните разходи.

4. Проведен е планиран експеримент и с помощта на стъпков регресионен анализ са изведени многофакторни математически модели, въз основа на които е определено влиянието на размерите на материалите върху производителността на различни по вид и технически параметри секачни машини.

5. Въз основа на изведените математически модели са построени 3D графики на равнината на отклика за производителността и чрез линиите на еднакъв отклик на целевата функция е извършена графична оптимизация, въз основа на която за всяка от изследваните секачни машини са определени оптималните размери на материалите (диаметър и дължина), при които производителността е най-голяма.

6. Съставен е математически модел за производителността при насичането на дървесина със секачни машини в зависимост от диаметъра на материалите, дължината на материалите и мощността на секачната машина и е определено влиянието на тези фактори върху производителността.

7. Разработена е методика и са въведени понятията „специфична производителност на секачната машина“ и „специфични разходи при насичането“. Въз основа на анализа на характера на изменение на специфичната производителност/специфичните разходи и нарастването на производителността при насичането на материали с различни размери и различна мощност на секачната машина, е извършено оптимизиране на процеса на насичане на дребноразмерна дървесина от отгледни сечи.

Научно-приложни приноси

1. При избора на технология за провеждане на отгледните сечи, при която дървесината ще се раздробява на технологични трески, за избягване на необходимостта от предварително разкройване на материалите може да се използват резултатите за максимално допустимата дължина на насичаните материали, определена при различните секачни машини.

2. С помощта на изведените математически модели за производителността, при проектиране на дърводобивната технология, може да се определят сменната производителност при насичането на дървесина от отгледни сечи и разходите за добиване на крайния продукт.

3. В зависимост от размерите на подлежащите на насичане материали от отгледните сечи и условията за работа на временните складове, може да се избере подходяща по вид и мощност мобилна секачна машина.

4. Оценката на пригодността на технологичните трески, извършена въз основа на изискванията на стандартите за целулоза, дървесни плочи и твърди биогорива, дава възможност да се определи предназначението на добитите технологични трески. Методиката и получените резултати позволяват да се реши и обратната задача – според необходимостта от технологични трески с определени параметри и качество да се избере подходяща секачна машина.

СПИСЪК НА ПУБЛИКАЦИИТЕ, СВЪРЗАНИ С ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

1. **Пеев, Д.** Отгледните сечи – проблеми и възможности. – Управление и устойчиво развитие, 2017, 67 (6), 68 – 78.

2. **Пеев, Д.** 2018. Фракционен състав и качество на технологичните трески от бялборовата (*Pinus sylvestris* L.) дървесина, добита с мобилни сечачни машини. – В: Сборник с доклади от международна научна конференция „90 години Институт за гората – за обществото и природата“, 24-26 октомври 2018 г., София, 131 – 150.

БЛАГОДАРНОСТИ

Бих искал на първо място да благодаря на научния си консултант доц. д-р Димитър Георгиев за дългогодишната помощ и непрестанната подкрепа, която ми оказа при разработването на дисертационния труд и във всяко едно отношение.

Също така искам да благодаря на колегите от катедра „Технологии и механизация в горското стопанство“ за оказаната подкрепа и преди всичко на ръководителя на катедрата доц. д-р Константин Маринов за съдействието през времето на докторантурата и работата ми като асистент в Лесотехническия университет.

Сърдечно благодаря на доц. д-р Нено Тричков, гл. ас. д-р Стоян Стоянов и д-р Николай Цветанов, които ми помогнаха в научните изследвания и чрез началния тласък, който ми оказаха, успях да извърша статистическата обработката на резултатите в научната си работа.

Благодаря на Изпълнителната агенция по горите към МЗХГ за предоставената информация за състоянието на отгледните сечи и добива на дървесина от тях.

Бих искал също така да благодаря и на хората, които ми оказаха съдействие при провеждането на теренните проучвания, а именно: на директора на ТП ДЛС „ВИТОШКО – СТУДЕНА“ инж. Драгомир Пенчев, на директора на ТП ДГС „Смолян“ инж. Станко Делиянчев, на инж. Радослав Манзуров от ТП ДГС „Разлог“, на управителя на фирма Екотех-продукт ООД д-р инж. Калин Симеонов, на д-р инж. Стефан Стоянов – управител на фирма МИНА ЕООД. Благодаря и на колегите от УОГС „Г. Ст. Аврамов“ – Юндола, директор инж. Величко Драганов и зам.-директор инж. Чавдар Устабашиев, както и на инж. Иван Дулев.

Благодаря и на ректорското ръководство на Лесотехническия университет и на деканското ръководство на факултет „Горско стопанство“ за оказаната помощ в различни етапи от моята работа.

Накрая, но не на последно място, бих искал да благодаря на семейството си, което ме подкрепяше през цялото време. Също така искам да благодаря на жената до мен, която лишавах от внимание и присъствие, но тя безрезервно ме подкрепяше.