

3. Солдатов С.В. Совершенствование методов расчета и обнаружения аварийных режимов сельских электрических сетей 10 кВ по наведенным напряжениям: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М: Изд-во ВИЭСХ, 2015. – 24 с.
4. Солдатов В.А., Яблоков А.С. Исследование наведенных напряжений на проводнике под линией электропередачи 35 кВ // Актуальные проблемы науки в агропромышленном комплексе: сб. ст. 66-й Междунар. науч.-практ. конф.: в 3 т. Т. 2 / Костромская ГСХА. – Караваево, 2015. – С. 193–196.
2. Soldatov V.A., Chebesov E.A. Kriterii opredelenija vida avarijnogo rezhima v setjah 0,38 kV pri ispol'zovanii otnoshenij naprjazhenij i tokov // Vestn. KrasGAU. – 2016. – № 8. – S.104–110.
3. Soldatov S.V. Sovershenstvovanie metodov rascheta i obnaruzhenija avarijnyh rezhimov sel'skih jelektricheskikh setej 10 kV po navedennym naprjazhenijam: avtoref. dis. ... kand. tehn. nauk. – M: Izd-vo VIJeSH, 2015. – 24 s.
4. Soldatov V.A., Jablokov A.S. Issledovanie navedennyh naprjazhenij na provodnike pod liniej jelektrouperedachi 35 kV // Aktual'nye problemy nauki v agropromyshlennom komplekse: sb. st. 66-j Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.: v 3 t. T. 2 / Kostromskaja GSHA. – Karavaevo, 2015. – S. 193–196.

Literatura

1. Arzhannikov E.A., Chuhin A.M. Metody i pribory opredelenija mest povrezhdenija na linijah jelektrouperedachi. – M.: Jenergo-press, 1998. – 87 s.



УДК 630*377

*В.Д. Валяжонков, С.А. Демидов,
Фам Нгок Линь*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕНДЕНЦИИ ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ МАССЫ И ГАБАРИТОВ НАИЛЕГЧАЙШИХ СОРТИМЕНТОПОДБОРЩИКОВ

*V.D. Valyazhonkov, S.A. Demidov,
Pham Ngoc Linh*

MODELING OF THE TENDENCY OF THE CHANGE OF WEIGHT AND DIMENSIONS PARAMETERS OF A WOOD ASSORTMENT PICK-UP (AP) OF THE LIGHTEST CLASS

Валяжонков В.Д. – канд. техн. наук, доц. каф. эксплуатации транспортных и технологических машин Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета им. С.М. Кирова, г. Санкт-Петербург. E-mail: valy-vladimir@yandex.ru
Демидов С.А. – асп. каф. эксплуатации транспортных и технологических машин Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета им. С.М. Кирова, г. Санкт-Петербург. E-mail: serge309@yandex.ru

Valyazhonkov V.D. – Cand. Techn. Sci., Assoc. Prof., Chair of Operation of Transport and Technological Machines, St. Petersburg State Forestry University named after S.M. Kirov, St. Petersburg. E-mail: valy-vladimir@yandex.ru
Demidov S.A. – Post-Graduate Student, Chair of Operation of Transport and Technological Machines, St. Petersburg State Forestry University named after S.M. Kirov, St. Petersburg. E-mail: serge309@yandex.ru

Фам Нгок Линь – асп. каф. эксплуатации транспортных и технологических машин Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета им. С.М. Кирова, г. Санкт-Петербург. E-mail: linhpham110@gmail.com

В связи с созданием лесопромышленниками широкой сети акционерных обществ с небольшими объемами заготовки назрел вопрос по проектированию энергосберегающих отечественных малогабаритных сортиментоподборщиков, которые могут работать под пологом леса. Этой проблеме посвящены работы профессоров Д.Г. Мясичева (САФУ), Н.А. Иванова (ТОГУ), Ю.А. Ширнина (ПГТУ). Однако сдерживающим фактором в этом вопросе является отсутствие законченной тенденции по развитию взаимосвязи параметров массы и габаритов наилегчайших сортиментоподборщиков. Поэтому целью настоящего исследования является математическое моделирование тенденции изменения параметров массы и габаритов сортиментоподборщиков (СП) наилегчайшего класса. Решение данного направления вызвано необходимостью создания отечественных машин для осветления и прочистки древостоев, проведения выборочных рубок в условиях малообъемных лесозаготовок. Зачастую из-за низкого уровня механизации эти работы выполняются в нашей стране с завышенными затратами энергоресурсов. В то же время машины данного класса находят все большее распространение на зарубежных лесосеках. Ограниченная масса и габариты рассматриваемых сортиментоподборщиков продиктованы особенностью отечественных природно-производственных условий выполнения ими лесосечных работ. Метод исследования – регрессионный анализ. Основой методики является разработанный комплекс математических моделей взаимовлияния рассматриваемых параметров, который позволил установить тенденции развития массы и габаритов машин. Установлены значения основных статистических характеристик параметров мощности, массы и габаритов СП. Создан комплекс математических моделей, позволяющих определить тенденции развития параметров массы и габаритов СП. Определены

Pham Ngoc Linh – Post-Graduate Student, Chair of Operation of Transport and Technological Machines, St. Petersburg State Forestry University named after S.M. Kirov, St. Petersburg. E-mail: linhpham110@gmail.com

характер и степень взаимовлияния параметров массы и габаритов СП. Созданная методика математического моделирования тенденции развития параметров массы и габаритов рекомендуется разработчикам отечественных сортиментоподборщиков наилегчайшего класса, потребителям – для выбора данных машин и обучения студентов высших и средних учебных заведений лесотехнической направленности.

Ключевые слова: сортиментоподборщик, регрессионный анализ, математическое моделирование.

In connection with the creation of wide network by lumbermen of joint-stock companies with small volumes of felling the question on the design of energy saving domestic small-size wood assortment pick-up that can work under forest canopy. Professors D.G. Myasishchev (PSU), N.A. Ivanov (ASU), Ju.A. Shimin (PSTU) devoted their works to this problem. However, a constraining factor in this question is the lack of finished tendency on the development of interrelation of the parameters of weight and dimensions of the wood assortment pick-up of the lightest class. And thus because of the low level of mechanization in our country these works are often fulfilled with the overestimated expenses of energy resources. At the same time the machines of this class are increasingly used on foreign cutting areas. The limited weight and dimensions of the considered wood assortment pick-ups are imposed by the feature of domestic natural working conditions of performing felling works done by them. The research techniques are regressive analysis. The basis of this technique is a developed complex of mathematical models of interference of considered parameters which have allowed establishing the tendencies of the development of weight and dimensions of machines. The values of the main statistical characteristics of parameters of power, weight and dimensions of AP are established. The complex of the mathematical models allowing defining the tendencies of the de-

velopment of the parameters of weight and dimensions of the AP is created. The character and extent of interference of parameters of weight and dimensions of AP are defined. The created technique of mathematical modeling of the tendency of the development of the parameters of weight and dimensions is recommended to developers of domestic wood assortment pick-up of the lightest class, to consumers for choosing these machines and for training students of both higher institutions and technical schools of forestry.

Keywords: wood assortment pick-up, regressive analysis, mathematical modeling.

Введение. В последние два десятилетия в скандинавских и в ряде восточно-европейских стран производятся недорогие по цене малогабаритные сортиментоподборщики (СП) массой

до семи тонн. По классификации машин данного типа они отнесены к наилегчайшему классу [1]. Их основным назначением является осветление и прочистка древостоев. Машин могут успешно применяться на выборочных рубках в условиях малообъемных лесозаготовок [2].

К настоящему времени производителями выпущено достаточно большое количество отличающихся по параметрам моделей. Это семейство машин Vimek, Terri, Agroforteka и др., которые успешно используются на перечисленных работах. Технические характеристики некоторых из них представлены в таблице 1. Данные машины имеют шарнирно-сочлененную раму с траковой (рис. 1) или колесной (рис. 2) ходовой системой.

Таблица 1

Технические данные наиболее востребованных наилегчайших сортиментоподборщиков

Компания	Модель	Ходовая часть	Мощность, кВт	Масса, кг	Энергонасыщенность, кВт/т	Грузоподъемность, кг	Макс. скорость, км/ч
Alstor AB	Alstor	8К8	12	800	15,0	1500	30,0
Woodtiger	GJ30	6К6	18	2750	6,55	3000	18,0
Vimek	Vimek 608	6К6	18	3000	6,0	3000	20,0
Agroforteka	AFA70	6К6	47	3425	3000	3000	13,72
АГТ	Мини 3,35	8К8	47	3500	10,0	3500	9,3
Malwa	Malwa 460	6К6	26	4000	6,5	3700	18,0
LogLander	Entracon EF45	Траковая	63	5500	11,45	4500	22,0
Новотны	LVS 5000	8К8	60	5900	10,17	5000	20,0
TERRI	TERRI 34	Траковая	46	4900	9,39	3600	19,0

Представляет интерес создание подобной техники для отечественного ведения лесохозяйственных работ, так как из-за низкого уровня механизации осветление, прочистка и первые прореживания древостоев выполняются зачастую с завышенными затратами энергоресурсов. Создание наилегчайших сортиментоподборщиков должно полностью отражать особенности отечественных природно-производственных условий (ППУ).

При создании отечественных СП, учитывая многообразие лесосечных ППУ нашей страны, необходимо уделить особое внимание главным параметрам машин. Прежде всего – массе

машины, которая характеризует конструктивное совершенство технического средства и мощности силовой установки, определяющей его потенциальные возможности. Кроме того, следует определить их взаимосвязи с такими параметрами, как масса груза и габариты, что отразится на опорной и габаритной проходимости машин.

Цель исследования: создание комплекса математических моделей, дающих возможность прогнозировать тенденцию развития взаимовлияния параметров массы и габаритов наилегчайших сортиментоподборщиков.

Задачи исследования:

- с использованием регрессионного анализа создать математические модели взаимовлияния параметров массы и габаритов рассматриваемых СП;
- с помощью математических моделей установить характер и степень взаимовлияния параметров для определения тенденций развития массы и габаритов машины.

Для обеспечения адекватности и точности моделей методикой предусматривалось:

- установление минимального объема выборки объектов;
- установление основных статистик по каждому исследуемому параметру выборки объектов;
- определение тесноты взаимосвязи между переменными и её направленность.



Рис. 1. Сортиментоподборщик налегчайшего класса Terri 34 с траковой ходовой системой, массой 4 900 кг и мощностью двигателя 46 кВт



Рис. 2. Сортиментоподборщик налегчайшего класса Vitek 608 с колесной ходовой системой 6К6, массой 2960 кг и мощностью двигателя 18 кВт

Метод исследования – регрессионный анализ. Проведение регрессионного анализа с целью определения уравнений регрессии представляет собой установление взаимосвязи между переменными, а также выявление показателей эффективности полученных уравнений.

Получены выборки мощности Ne машины, ее массы Mm и массы груза $Mгр$, параметров габаритов: длины L , ширины B и высоты H , а также дорожного просвета D и колеи K . Они выполнены исходя из 5 %-й точности.

Результаты статистической обработки представлены в таблице 2.

Таблица 2

Значения основных статистик параметров мощности, массы и габаритов сортиментоподборщиков наилегчайшего класса

Параметр	Значение основных статистик				
	$m(X)$	$Xmin$	$Xmax$	σx	C_v
$Mm, кг$	3805,0	800,0	5900,0	1301,31	0,342
$Ne, кВт$	35,59	12,0	63,0	12,92	0,363
$Mгр, кг$	3513,6	1400,0	5000,0	1060,68	0,302
$KN, кВт/т$	9,59	4,86	15,0	3,03	0,316
$KM, т/т$	1,054	0,648	1,875	0,350	0,333
$L, мм$	6484,5	4560,0	7500,0	663,8	0,102
$B, мм$	1810,4	1350,0	2110,0	177,05	0,098
$H, мм$	2592,3	1780,0	2920,0	361,89	0,140
$D, мм$	429,5	300,0	560,0	59,16	0,138
$K, мм$	1411,4	1030,0	1650,0	165,24	0,117

Примечание. Статистики, используемые в данной таблице, имеют следующие обозначения: $m(X)$, $Xmin$ и $Xmax$ – соответственно математическое ожидание, минимальное и максимальное значение параметра; σx – среднеквадратическое отклонение; C_v – коэффициент вариации.

Кроме того, были составлены выборки показателей энерго- и грузонасыщенности, которые представлены коэффициентами: $KN = Ne/Mm, кВт/т$, и $KM = Mm/Mгр, т/т$.

Результаты исследования. Проведена компьютерная обработка полученных выборок параметров и показателей с помощью пакета прикладных программ STATISTICA 7.

Полученные значения уровня значимости по критерию χ^2 (*Chi-Square*) для всех параметров $p = 0,11-0,24$ превышают 0,05. Можно утверждать, что распределение выборок не отличается от нормального. В качестве примера на рисунке 3 представлено нормальное распределение массы СП.

Анализ данных полученных выборок указывает на широкие диапазоны значений параметров и показателей $Mm, Ne, Mгр, KN$ и KM . Их максимальные значения соответственно в 7,4;

5,3; 3,6; 3,1 и 2,9 раза больше минимальных значений. Кроме того, значения данных параметров и показателей имеют большую изменчивость, о чем свидетельствуют значения их коэффициентов вариации. Они колеблются в пределах от 30,2 до 36,3 %.

Повышенная изменчивость значений параметров объясняется различием конструктивных принципов в технических решениях СП наилегчайшего класса. Концепция данных машин в настоящее время проходит стадию формирования.

Что касается размаха диапазонов значений габаритных параметров, то они значительно уже. Отношение значений $Xmax/Xmin$ для всех данных диапазонов приблизительно равно 1,6. Они обладают низкой изменчивостью, которая характеризуется коэффициентом $C_v = 9,8-14,0$ %.

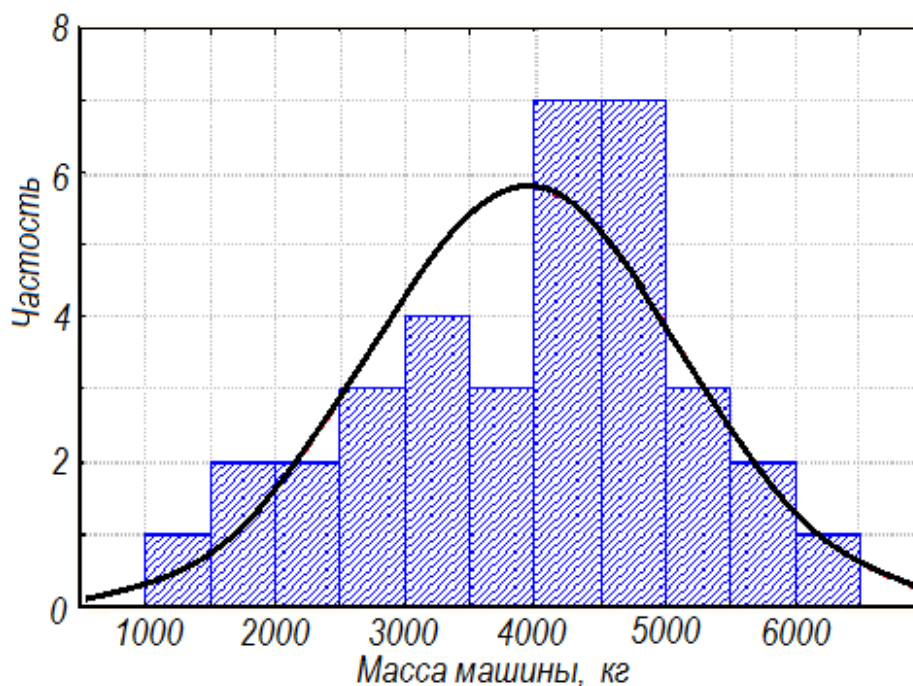


Рис. 3. Нормальное распределение массы современных сортиментоподборщиков наилегчайшего класса

Для более детального анализа взаимосвязей рассматриваемых переменных с помощью пакета прикладных программ STATISTICA 7 выполнен регрессионный анализ следующих зависимостей:

$$(N_e, M_{гр}, KN, KM, L, B, H, D, K) = f(M_m), \quad (1)$$

$$(N_e, KN, KM, L, B, H, D, K) = f(M_m, M_{гр}), \quad (2)$$

$$M_m = f(L, B, H). \quad (3)$$

Данные уравнений (1–3) представлены в таблице 3.

Таблица 3

Вид регрессионных уравнений

Простые линейные регрессии			
$N_e = -2,572 + 0,01 M_m,$	(1)	$L = 5215,2 + 0,33 M_m,$	(5)
$M_{гр} = 1025,5 + 0,654 M_m,$	(2)	$B = 1397,0 + 0,11 M_m,$	(6)
$KM = 1,443 - 0,0004 M_m,$	(3)	$H = 1788,3 + 0,21 M_m,$	(7)
$KN = 11,52 - 0,0005 M_m$	(4)	$D = 306,6 + 0,032 M_m,$	(8)
		$K = 1047,5 + 0,096 M_m$	(9)
Множественные линейные регрессии			
$N_e = 1,855 + 0,01 M_m - 0,004 M_{гр}$	(10)	$B = 1319,6 + 0,12 M_m + 0,076 M_{гр}$	(14)
$KM = 1,06 - 0,0004 M_m + 0,0003 M_{гр}$	(11)	$H = 1710,0 + 0,22 M_m + 0,076 M_{гр},$	(15)
$KN = 12,98 + 0,0005 M_m - 0,0014 M_{гр},$	(12)	$K = 966,9 + 0,092 M_m + 0,079 M_{гр},$	(16)
$L = 5135,2 + 0,31 M_m + 0,078 M_{гр},$	(13)	$D = 295,37 + 0,031 M_m + 0,011 M_{гр}$	(17)
$M_m = -9419,5 + 0,72 L + 3,13 B + 1,12 H$			(18)

Установлены закономерности в виде регрессионных уравнений:

– влияния M_m на $N_e, M_{гр}, KN, KM, L, B, H, D, K$ согласно комплексу зависимостей (1);

– влияния M_m и $M_{гр}$ на $N_e, KN, KM, L, B, H, D, K$ согласно комплексу зависимостей (2);

– влияния L, B, H на M_m согласно комплексу зависимостей (3).

Полученные уравнения простых линейных регрессий (1)–(9) характеризуются следующими показателями:

- тесной корреляционной взаимосвязью между N_e , $M_{\text{гр}}$, L , B , H , D и K с одной стороны и массой машины M_m – с другой. Коэффициент корреляции R данных взаимосвязей составляет 0,691–0,813 и имеет положительную направленность. Заметно ниже отмечается теснота корреляционной взаимосвязи KM и KN с массой M_m , при этом она имеет отрицательную направленность;

- коэффициент детерминации R^2 , составляющий 0,665–0,791 у ряда уравнений, говорит о том, что варьирование параметров N_e , $M_{\text{гр}}$, L , B , H , D и K на 66–79 % описывается регрессионной линией. Это достаточно хорошие значения показателей. Значения данного показателя незначительно ниже у остальных параметров;

- уровни значимости t -критерия для коэффициентов уравнений (p -level) лежат в диапазоне 0,039–0,0001. Так как данный диапазон уровня значимости менее 0,05, коэффициенты уравнений являются достоверными на 5 %-м уровне значимости;

- уровни значимости F -критерия, оценивающие достоверность рассматриваемых регрессионных уравнений в целом, представлены диапазоном $p < (0,042–0,0001)$, который по своим значением меньше 0,05. Это убедительно говорит о том, что полученные уравнения хорошо описывают рассматриваемые зависимости.

Уравнения множественных линейных регрессий (10)–(17) характеризуются следующими показателями:

- уравнения регрессии адекватно отражают соответствующие зависимости. Значения коэффициента детерминации R^2 для всех уравнений расположены в диапазоне 0,528–0,854. Точки достаточно тесно ложатся на поверхности отклика;

- уровни значимости t -критерия для коэффициентов уравнений (p -level) расположены в диапазоне 0,024–0,044. Они менее 0,05, что говорит о достоверности коэффициентов уравнений на 5 %-м уровне;

- уровни значимости F -критерия, оценивающего достоверность регрессионного уравнения в целом, для рассматриваемых уравнений соот-

ветственно составляет $p < 0,0011–0,0038$. Полученные значимости F -критерия составляют менее 0,05, что является хорошей достоверностью уравнений.

Уравнение множественной линейной регрессии (18) имеет следующие показатели:

- значение коэффициента детерминации R^2 равно 0,816. Это позволяет судить о хорошей адекватности уравнения регрессии;

- уровни значимости t -критерия для коэффициентов уравнения (p -level) расположены в диапазоне 0,0001–0,0411. Они менее 0,05. Это говорит о достоверности коэффициентов уравнений на 5 %-м уровне;

- уровень значимости F -критерия для данного уравнения составляет $p < 0,00001$. Он менее 0,05, что является хорошей достоверностью уравнения.

Уравнения регрессии являются математическими моделями, дающими возможность установить характер и степень влияния параметров массы машины и массы груза на ее мощность, грузоподъемность, энергонасыщенность, грузонасыщенность и габариты, а также параметров габаритов на массу машины. Такой подход позволит, в свою очередь, вскрыть тенденцию развития энергетических и конструктивных свойств сортиментоподборщиков наилегчайшего класса. В результате это сыграет положительную роль в повышении эксплуатационной эффективности.

На рисунках 4 и 5 представлены графические зависимости математических моделей.

Анализ применения зависимостей математических моделей простых линейных регрессий (см. рис. 4) позволяет установить характер влияния массы СП на его мощность, грузоподъемность, энергонасыщенность, грузонасыщенность и габариты. С их ростом наблюдается рост значений параметров N_e , $M_{\text{гр}}$, L , B , H , D , K и снижение KN , KM .

При этом степень влияния M_m оказывает влияние на зависимые параметры со следующей «скоростью» изменения данных машин: $N_e = (+ 0,01 \text{ кВт/кг})$, $M_{\text{гр}} = (+ 0,654 \text{ кг/кг})$, $L = (+ 0,33 \text{ мм/кг})$, $B = (+ 0,11 \text{ мм/кг})$, $H = (+ 0,21 \text{ мм/кг})$, $D = (+ 0,032 \text{ мм/кг})$, $K = (+ 0,096 \text{ мм/кг})$, $KN = (- 0,0005 \text{ (кВт/кг)/кг})$, $KM = (- 0,0001)$.

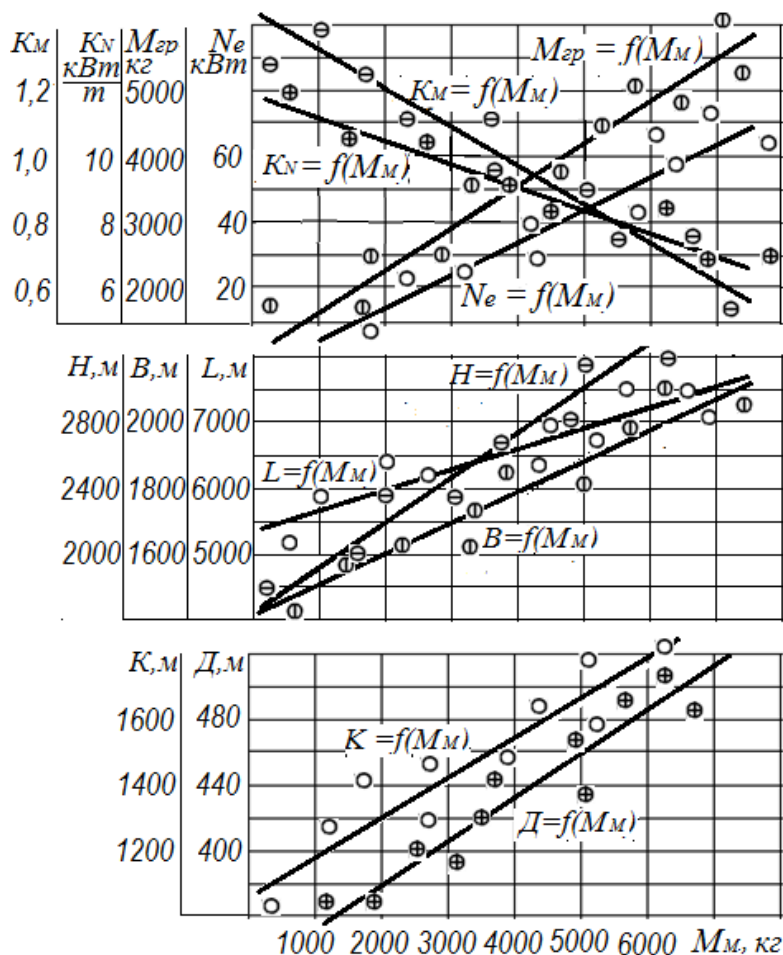


Рис. 4. Зависимости изменения параметров N_e , $M_{гр}$, K_N , K_M , L , B , H , K , D и K_L СП наилегчайшего класса под влиянием его массы M_M

Анализ зависимостей математических моделей множественных линейных регрессий (рис. 5) также позволяет установить характер совмест-

ного влияния массы СП и массы перемещаемого груза на его мощность, энергонасыщенность, грузонасыщенность и габариты.

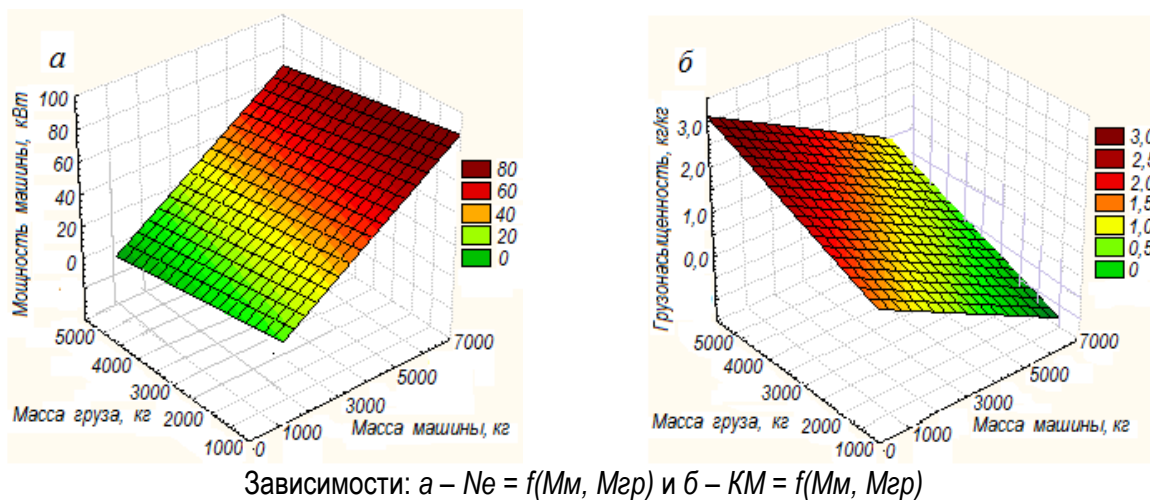


Рис. 5. Зависимости изменения параметров N_e и K_M сортиментоподборщиков наилегчайшего класса под влиянием их массы (M_M) и массы груза ($M_{гр}$)

Выводы. В результате проведенного исследования с использованием методики математического моделирования тенденции изменения параметров массы и габаритов наилегчайших сортиментоподборщиков были получены следующие результаты:

– установлены значения основных статистических характеристик параметров мощности, массы и габаритов СП;

– создан комплекс математических моделей, позволяющих определить тенденции развития параметров массы и габаритов СП;

– установлен адекватный характер совместного влияния массы СП и массы перемещаемого груза на его мощность, энергонасыщенность, грузонасыщенность и габариты по результатам линейных и множественных регрессий. Так, судя по расположению поверхностей отклика в трехмерном пространстве XYZ, наблюдается следующий характер совместного влияния M_m и $M_{гр}$: рост значений параметров N_e , $M_{гр}$, L , B , H , D и K при увеличении M_m и $M_{гр}$; снижение значений показателя KN при увеличении M_m и снижение $M_{гр}$; понижение значений показателя KM при снижении M_m и увеличении $M_{гр}$;

– при одновременном увеличении каждой из масс M_m и $M_{гр}$ на 1000 кг их степень совместного влияния сказывается в следующем росте зависимых параметров: N_e – на 10 кВт, L – на 361 мм, B – на 135 мм, H – на 152 мм, D – на 36 мм/кг, K – на 65 мм; при одновременном увеличении M_m на 1000 кг и снижении $M_{гр}$ на 1000 кг отмечается понижение значений показателя KN на 1,0; при одновременном снижении M_m на 1000 кг и увеличении $M_{гр}$ на 1000 кг отмечается понижение значений показателя KM на 0,1;

– установлен характер совместного влияния габаритных параметров длины, ширины и высоты на массу СП. Судя по знаку «+» каждого коэффициента уравнения, увеличение параметров L , B и H вызывает рост M_m . При этом отмечается значительная степень совместного влияния значений данных параметров на массу

машины. При одновременном изменении значений каждого из параметров L , B и H на 200 мм меняются значения M_m на 1000 кг.

Созданная методика математического моделирования тенденции развития параметров массы и габаритов может быть использована разработчиками отечественных сортиментоподборщиков наилегчайшего класса, потребителями для более эффективного выбора данных машин. В настоящее время АО «Кировский завод» выпускает для отечественного сельского хозяйства малогабаритные тракторы белорусской сборки МТЗ-1221 массой 5 700 кг с колесной формулой 4К4. К примеру, этот трактор можно взять за основу переоборудования в лесной вариант с учетом некоторых рекомендаций данной статьи.

Литература

1. Андронов А.В., Валяжонков В.Д., Добрынин Ю.А. Модели формирования главных параметров колесных форвардерных машин // Вестн. КрасГАУ. – 2015. – № 9. – С. 139–144.
2. Ширнин Ю.А., Рукомойников К.П., Онучин Е.М. Процессы комплексного освоения участков лесного фонда при малообъемных лесозаготовках / под ред. Ю.А. Ширнина. – Йошкар-Ола: Изд-во МарГТУ, 2005. – 196 с.

Literatura

1. Andronov A.V., Valjzhonkov V.D., Dobrynin Ju.A. Modeli formirovaniya glavnyh parametrov kolesnyh forvardernyh mashin // Vestn. KrasGAU. – 2015. – № 9. – S. 139–144.
2. Shirnin Ju.A., Rukomojnikov K.P., Onuchin E.M. Processy kompleksnogo osvoenija uchastkov lesnogo fonda pri maloob'emnyh lesozagotovkah / pod red. Ju.A. Shirnina. – Joshkar-Ola: Izd-vo Mar-GTU, 2005. – 196 s.