

Технология и средства механизации

УДК 502/504 : 631.311.5

Ю. Г. РЕВИН

Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«Московский государственный университет природообустройства»

ТРЕХМЕРНАЯ МОДЕЛЬ ВЫРАВНИВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ РИСОВЫХ ЧЕКОВ МЕЛИОРАТИВНЫМ ПЛАНИРОВЩИКОМ

В статье предлагается рассматривать поверхность рисового чека как трехмерную статистическую модель, обладающую определенными устойчивыми закономерностями. Приведен конкретный пример типичной поверхности чека. Описана методика прогностического расчета результатов выровненности чека при движении полуприцепного мелиоративного планировщика с системой автоматического управления по петлевой схеме вдоль длинной или короткой сторон этого чека.

Матрица поверхности рисового чека, случайная поверхность, корреляционная поверхность, спектральная плотность неровностей поверхности, мелиоративный планировщик, амплитудно-частотная характеристика планировщика, дисперсии неровностей разной длины.

In the article it is proposed to consider the surface of a rice check as a three-dimensional static model which possesses certain stable regularities. The concrete example of a typical check surface is given. The method is described on the forecast estimation of the check leveling results at the movement of the semitrailer reclamation planer with the automatic control system on the loop scheme along a long or short side of this check.

Rice check surface matrix, random surface, correlation surface, spectral density of the surface roughness, reclamation planer, planer amplitude – frequency characteristics, dispersions of roughness of different lengths.

Для оценки эффективности выравнивания поверхности рисовых чеков, выработки улучшенной концепции и обоснования параметров планировочных машин необходимо использовать более совершенные методики формирования

взаимосвязи технологии и средств механизации.

Поверхности рисовых чеков, которые предполагается выравнять, характеризуются значительными неровностями, которые можно классифицировать как микронеровности. В качестве при-

мера рассмотрим поверхность рисового чека, относительные высотные отметки которого получены при его нивелировании по квадратам $20 \times 20 \text{ м}^2$. На рис. 1 представлена модель поверхности, используемой при дальнейшем анализе, в виде двумерной числовой матрицы Z .

	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	11.9	8.0	-0.1	3.0	4.5	7.5	10.9	5.5	3.0
1	8.0	6.5	4.0	-3.0	6.5	3.0	8.0	5.5	5.0
2	-0.1	5.5	1.0	-0.1	9.5	4.0	5.0	2.0	-3.0
3	-3.0	-2.0	-0.1	-7.5	-0.1	-7.0	-5.0	-2.0	-0.1
4	1.5	-0.1	-5.0	-6.5	-1.5	-9.0	-3.0	-4.0	-5.5
5	-4.5	-4.0	-4.5	-7.0	-8.0	-7.0	-3.0	-0.1	-0.1
6	2.0	4.0	-4.4	-4.0	-4.0	-6.5	-2.0	-0.1	-2.5
7	-0.1	1.0	1.5	-6.0	-1.5	-4.0	-3.5	-0.1	-0.1
8	-0.1	2.5	-0.1	-3.0	-0.1	-1.5	5.5	-0.1	-3.5
9	-0.1	1.0	1.0	-5.0	-0.1	-6.5	1.5	-0.1	-3.0
10	1.5	4.5	3.0	-2.5	-3.5	-7.5	-3.0	-1.5	-2.5
11	-0.1	1.0	3.0	-3.0	-3.0	-8.5	-6.5	-5.0	-4.5
12	1.0	6.5	3.0	-5.0	-3.0	-8.5	-4.5	-4.5	-5.0
13	-4.0	-1.5	-0.1	-8.5	-7.0	-7.5	-5.5	-0.1	-2.0
14	-0.1	2.0	-0.1	-10.1	5.8	-1.5	3.0	5.5	4.5
15	-6.0	-0.1	4.5	-3.5	-2.0	1.5	2.5	8.0	7.5
16	14.9	16.9	16.9	12.9	7.5	4.5	5.5	8.5	9.5

Рис. 1. Двумерная матрица поверхности с относительными высотными отметками

По горизонтальной и вертикальной координатам этой матрицы отложены номера квадратной сетки. Поверхность, относительно которой отсчитываются высотные отметки, является горизонтальной, соответствующей отметке нулевых работ.

Предварительный анализ характера неровностей, представленных матрицей Z , дает возможность сделать общий вывод о том, что их значения в большей степени разнятся по величине и случайным образом распределены по массиву матрицы, а значит, и по поверхности рисового чека. Используя в дальнейшем основные положения теории случайных функций, можно представить выравниваемую поверхность как случайную поверхность. Параметры случайной поверхности можно оценить при помощи так называемой корреляционной поверхности $K(r, p)$. Здесь значения r, p являются текущими значениями смещений отсчетов при получении корреляционной поверхности по оси X и Y соответственно.

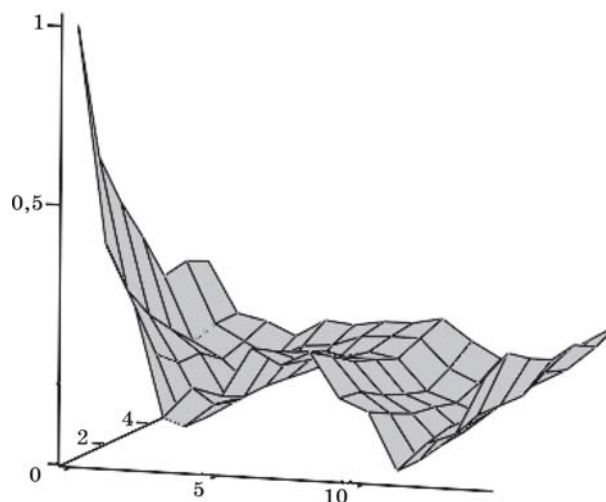


Рис. 2. График корреляционной поверхности, описывающей исходную поверхность рисового чека

При анализе графика корреляционной поверхности можно сделать вывод о наличии в составе исходной поверхности неровностей длиной от 200 до 300 и от 20 до 40 м. Такая информация позволяет генерировать способы планирования и использования конкретных технических средств по

выравниванию неровных поверхностей. Однако конкретных количественных характеристик неровностей корреляционная поверхность потенциально представить не может.

Более точные данные о параметрах микронеровностей можно получить при помощи дополнительной математической статистики — спектральной плотности исходной поверхности. На рис. 3 представлена матрица S и построенная по ее данным спектральная поверхность.

	0	1	2	3	4	5	6
0	2.4	1.8	1.3	1.1	1.3	1.5	2.4
1	2.7	1.2	0.9	0.8	0.8	1.0	2.5
2	1.4	0.7	0.5	0.5	0.5	0.6	1.3
3	1.8	0.9	0.7	0.7	0.7	0.8	1.7
4	1.3	0.7	0.5	0.5	0.5	0.6	1.2
5	1.9	0.9	0.7	0.6	0.7	0.8	1.7
6	2.6	1.5	1.1	1.0	1.1	1.3	2.4
7	2.7	1.4	1.0	0.9	0.9	1.1	2.6
8	1.4	0.7	0.5	0.5	0.5	0.6	1.3
9	1.4	0.7	0.6	0.5	0.6	0.6	1.3
10	1.4	0.7	0.6	0.5	0.5	0.6	1.3
11	1.6	0.8	0.6	0.6	0.6	0.7	1.5
12	2.4	1.3	0.9	0.9	0.9	1.1	2.2
13	2.4	1.3	1.0	0.9	1.0	1.1	2.2

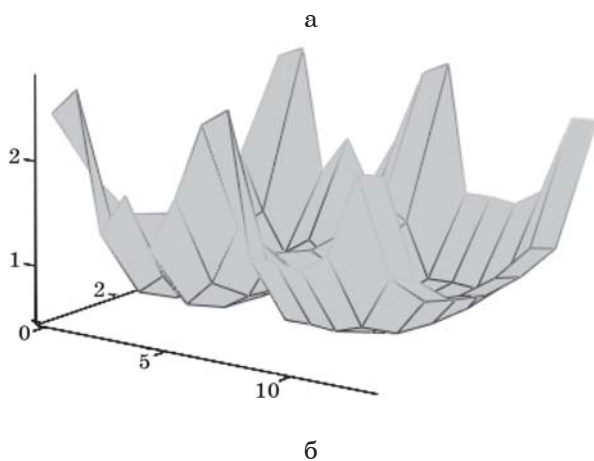


Рис. 3. Спектральная плотность исходной поверхности в виде двумерной матрицы (а) и трехмерной поверхности (б)

Процесс выравнивания поверхности рисового чека может быть описан формулой

$$S2 = SA^2, \tag{1}$$

где S — спектральная плотность выравниваемой поверхности в виде двумерной матрицы;

$S2$ — спектральная плотность поверхности участка после одного прохода планировщика также в виде двумерной матрицы; A — амплитудно-частотная характеристика планировочной машины, представленная в виде квадратной диагональной матрицы.

По формуле (1) для выравнивания поверхности используется технологическая схема движения планировочной машины, которая носит название петлевой (использование этой схемы возможно в двух вариантах: при движении планировщика вдоль длинной стороны участка или вдоль короткой стороны).

В зависимости от варианта движения формула (1) приобретает конкретный вид для каждого случая.

При движении вдоль длинной стороны

$$S2 = S^TAD1^2. \tag{2}$$

При движении вдоль короткой стороны участка формула (1) видоизменяется:

$$S3 = SAD2^2. \tag{3}$$

В формулах (2) и (3) диагональная матрица $AD1$ равна размеру длинной стороны планируемого чека, а матрица $AD2$ соответствует размеру короткой его стороны.

Для конкретного расчета был использован прототип планировщика марки ПЛ-5 с заменой гусеничного трактора Т-130 на колесный трактор типа К-702 (рис. 4).

Передаточная функция рассматриваемой машины может быть представлена следующей формулой:

$$P(s) = \frac{P_T(s)P_{пл}(s)}{1 + PA(s)},$$

где $P_T(s)$ — передаточная функция колесного трактора К-702; $P_{пл}(s)$ — передаточная функция полуприцепного планировщика типа ПЛ-5; $PA(s)$ — передаточная функция лазерной системы автоматического регулирования рабочим органом планировщика по высоте;

$$P_T(s) = e^{Xs}(1 - \alpha 1) + \alpha 1e^{(X - B)s},$$

где X — расстояние от передних колес трактора до точки прицепа планировщика, m ; $\alpha 1 = X/B$;

$$P_{пл}(s) = \frac{\alpha e^{(L-1)s}}{1 - e^{-\tau s}(1 - \alpha)},$$

где $\alpha = l/L$;

$$PA(s) = \frac{ke^{-\tau s}}{(Ts + 1)s},$$

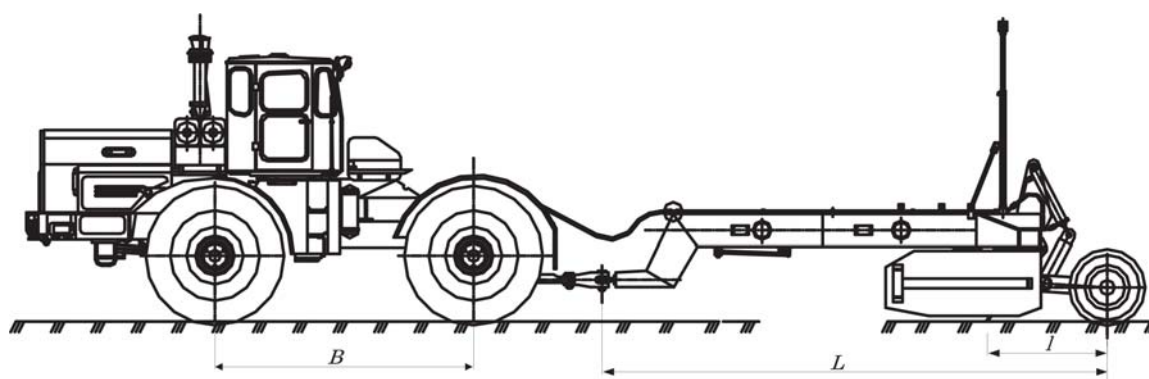


Рис. 4. Общий вид полуприцепного мелиоративного планировщика: B — база трактора; L — база планировщика; l — расстояние от режущей кромки рабочего органа до задней опоры планировщика

где k — коэффициент усиления системы автоматического управления; t — запаздывание системы, м; T — постоянная времени, приведенная к пути, м (в расчете приняты следующие значения: $k = 0,4$; $t = 0,2$ м; $T = 0,4$ м).

Амплитудно-частотная характеристика планировщика может быть определена по формуле

$$A(\omega) = |P(i\omega)|.$$

Для пересчета функции $A(\omega)$ в матрицу-строку A использовано следу-

$$A1 := (0 \ 0.582 \ 0.71 \ 0.611 \ 0.439 \ 0.271 \ 0.165 \ 0.191 \ 0.308 \ 0.495 \ 0.639 \ 0.279 \ 0.103 \ 0.068)$$

При движении планировщика вдоль короткой стороны чека матрица-строка выглядит так:

$$A2 := (0 \ 0.582 \ 0.71 \ 0.611 \ 0.439 \ 0.271 \ 0.165)$$

В качестве примера результата выравнивания рисового чека в соответствии с формулой (1) на рис. 5 приведена матрица $S2$ спектральной плотности выровненной поверхности при реализации «движения» планировочной машины по петлевой схеме вдоль длинной стороны участка (2).

В составе исходной поверхности присутствуют неровности разной длины. На неровности длиной более 120 м приходится около 25 % общей дисперсии, на неровности длиной около 40 м — 16 %, неровности длиной около 20 м занимают примерно 31 %, на десятиметровые неровности приходится примерно 24 %.

Результаты выравнивания поверхности:

ющее соотношение:

$$\omega(j) = \frac{2\pi\omega}{\Delta},$$

где Δ — шаг квадратной сетки, в соответствии с которой была произведена высотная съемка поверхности участка территории.

Матрица-строка амплитудно-частотной характеристики планировщика для варианта работы планировщика при его движении вдоль длинной стороны чека выглядит следующим образом:

дисперсия неровностей уменьшилась — вместо $D1 = 28 \text{ см}^2$ имеем $D2 = 4 \text{ см}^2$;

средняя амплитуда неровностей уменьшилась с $\alpha1 = 7,5 \text{ см}$ до $\alpha2 = 2,8 \text{ см}$;

график спектральной плотности изменился не только в количественном отношении, но и по структуре.

Выровненная поверхность содержит в своем составе примерно 65 % неровностей, имеющих длину от 200 до 30 м, причем дисперсия высотной составляющей неровностей распределена между ними равномерно. Остальные 30 % приходятся на 15-метровые неровности.

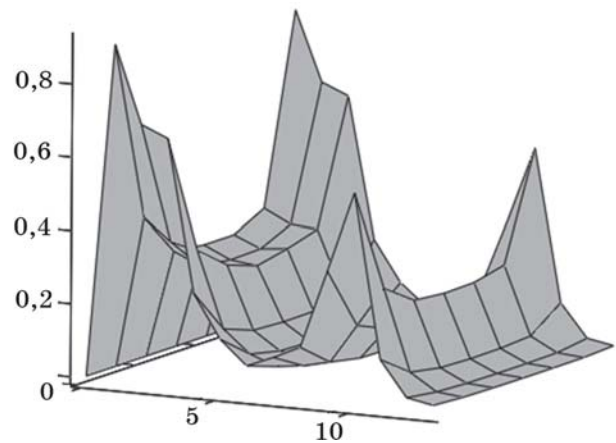
При выравнивании поверхности рисового чека планировщиком с теми же характеристиками, но при движении по петлевой схеме вдоль короткой стороны поля имеем следующие результаты.

Дисперсия неровностей после одного прохода планировщика равна

$S_2 =$

	0	1	2	3	4	5	6
0	0	0	0	0	0	0	0
1	8.5	3.8	2.7	2.6	2.6	3.0	7.8
2	1.1	0.6	0.4	0.4	0.4	0.5	1.0
3	0.1	0	0	0	0	0.1	0.1
4	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2
5	1.2	0.6	0.4	0.4	0.4	0.5	1.1
6	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0

а



б

Рис. 5. Матрица спектральной плотности выровненной поверхности после одного прохода планировщика в соответствии с загонной схемой его движения вдоль длинной стороны (а) и трехмерный ее график (б)

примерно 5...6 см², средняя амплитуда — 3...4 см. Структура неровностей также изменилась, как и в результате движения вдоль длинной стороны чека: появилось много неровностей большой и средней длины, не стало неровностей малой длины (например, неровностей длиной от 200 до 40 м — 85 %, причем также равномерно распределенных по дисперсии). Других неровностей с выраженной периодической составляющей не обнаружено.

Выводы

Предлагаемая трехмерная модель процесса выравнивания поверхности территории вполне работоспособна и может быть использована для целей совершенствования технологий и технических средств при выполнении работ по выравниванию сельскохозяйственных территорий.

Материал поступил в редакцию 11.02.09.

Ревин Юрий Григорьевич, кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Мелиоративных и строительных машин»

Тел. 8 (495) 976-21-15

E-mail: jrevin@km.ru