



Рис. 9. Приспособление Synchrolab 2x1,5 (фирма Franquet) для дополнительной обработки пласта при вспашке.

и неспособность измельчать растительные остатки при малой глубине заделки их плугом.

Фирма Lemken и Echia вы-

пускаются приспособления, рабочим органом которых является планчатый каток (рис.7 и 8).

Наряду с достоинствами этих приставок (малая масса, высокая маневренность) имеются и недостатки. Планчатые катки дробят почвенные комки, выравнивают поверхность и подуплотняют почву только на глубине хода планок (4–6 см). В остальной части обработанного пласта остаются воздушные пространства, которые мешают восстановлению капиллярных связей почвы после вспашки, что в конечном итоге способствует ее иссушению, недостатку в питании растений.

Фирмой Franquet выпускаются приспособления к плугам для дополнительной обработки почвы, рабочим органом которых является спиральный каток-выравниватель (рис.9).

Отличительной особенностью агрегата с данной приставкой является навешивание ее на переднюю навеску трактора. Приспособление используется с оборотными плугами. Приставкой обрабатывается поверхность пахоты предыдущего прохода. Она состоит из двух одинаковых частей, которые работают поочередно в зависимости от направления движения трактора – справа или слева. Таким образом, наряду с достоинствами приставки (навесная), имеются недостатки: половина машины при выполнении рабочего процесса не используется.

Проведенный анализ зарубежных конструкций комбинированных пахотных агрегатов показывает, что данному вопросу уделяется большое внимание. Конструкции дополнительных катковых приспособлений, рабочими органами которых являются клиновые и кольчато-шпоровые диски, спираль и планки, весьма разнообразны. Таким образом, можно сделать вывод о том, что проблема поиска новых, перспективных решений по созданию комбинированных почвообрабатывающих агрегатов по-прежнему актуальна.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Проспекты фирм Kverneland, Lemken, Niemeyer, Rabe, Bremer, Tigges, Agrotech, Brdutigam, Franquet.
2. Совершенствование механической обработки пласта многолетних трав. Пилецкий А.З., Костюков П.П., Казакевич П.П., Михневич Н.А., Барановский В.В. Земледелие, 1991, №12. Агропромиздат. – С.50-53.

УДК 621.317.39:543.812.08

## ИЗМЕРЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ РАСТИТЕЛЬНЫХ ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

В.С. Корко, канд. техн. наук, доцент; И.И. Скочек, инженер (УО БГАТУ)

Известные электрические влагомеры (кондуктометрические, диэлькометрические и другие) в значительной степени ориентированы на контроль влажности зерна и семян злаковых и зернобобовых культур, и лишь некоторые модификации применялись в кормопроизводстве и льноперерабатывающей промышленности [1].

Республика Беларусь является одним из крупнейших в мире производителей льноволокна. Интерес ко льну вызван не только его уникальными свойствами, но и тем, что льняное волокно и изделия из него являются высоколиквидным валютным товаром, и, следовательно, лен играет большую роль как источ-

ник валютных поступлений для аграрного сектора. Нынешнее тяжелое положение льняной отрасли кроется в том, что лен не только ценная, но и трудоемкая культура, требующая строгого выполнения всех технологических операций.

Основным параметром, определяющим качественное выполнение всех технологических приемов при переработке и хранении льносырья, является влажность. Изменение влажности льна приводит к значительным изменениям его физико-механических свойств, а, следовательно, влияет на ход технологического процесса, поэтому контроль влажности необходим почти на всех этапах технологической цепочки: от операции сдачи – приемки

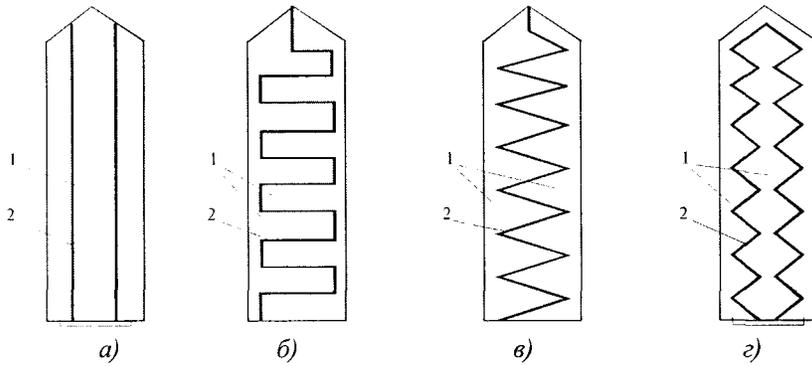


Рис. 1. Конструктивные схемы ПИП ножевого типа с различной формой электродов: 1-электроды; 2-диэлектрик

до выхода готовой продукции. Применяемые в льняной промышленности лабораторные методы оценки влажности весьма продолжительны, трудоемки и не могут обеспечить должной оперативности в определении этого параметра. Оперативное определение влажности может быть осуществлено только с помощью экспрессных приборов влагомеров.

На современных льнопроизводящих и льноперерабатывающих предприятиях в настоящее время

остро стоит проблема экспрессного контроля влажности льносемян, льнотресты в токах и снопах, льноволокна и др. Для измерения влажности материала в ограниченных объемах (мешки, токи, снопы и т.п.) обычно используют щуповые цилиндрические и плоские (ножевые) первичные измерительные преобразователи (ПИП) [1...4]. Конструктивно такие ПИП выполнены в виде диэлектрического каркаса из трубки или полосы с размещенными электродами в виде колец или полосок, соединенных проводами. Существенным недостатком, влияющим на

чувствительность и точность измерений с помощью щуповых ПИП, является

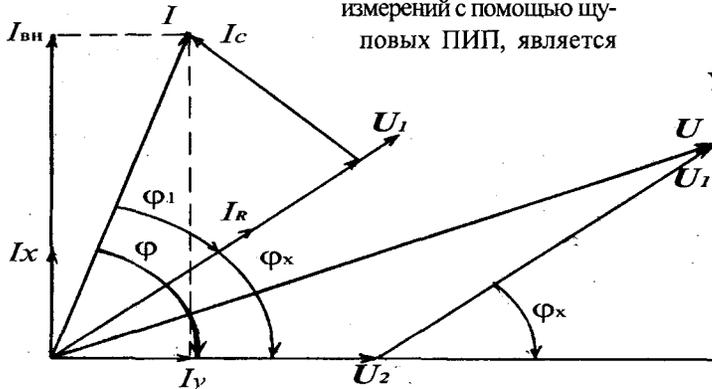


Рис. 3. Векторная диаграмма токов и напряжений

сложность обеспечения необходимой емкости [1,4].

На основе анализа литературных данных, сравнительных испытаний для контроля влажности льнотресты в токах и снопах нами предложены конструктивные схемы ПИП ножевого типа с различной формой электродов (рис.1). Чувствительность измерительной схемы с каждым из ПИП определяли по формуле

$$s = \frac{C - C_n}{C_n} 100\%, \quad (1)$$

где  $C$  – емкость ПИП, помещенного в материал;

$C_n$  – емкость ПИП в режиме холостого хода (без материала).

Для измерения емкости ПИП, определения диэлектрических характеристик материалов можно использовать мостовой метод, приборы  $L$ -,  $C$ -,  $tg\delta$ -,  $Q$  – метры и др. Метод трех вольтметров сравнительно прост и включает объект исследования (ПИП), генератор (Г4-106), образцовый резистор ( $R_0$ ) и индикатор, по которому можно с достаточной точностью определять напряжения. В качестве индикатора использовали электронный вольтметр В7-40/5. Поскольку необходимы исследования в достаточно широком частотном диапазоне, использовали метод трех вольтметров, модифицированный для исключения шунтирующего влияния измерительного прибора (рис. 2). С этой целью схема дополнена емкостью, вносимой измери-

тельным прибором  $C_{BH}$ , и сопротивлением утечки  $R_y$ .

Корректировка расчетных формул произведена с помощью векторной диаграммы (рис.3), построенной для модифицированной схемы экспериментальной установки. Как следует из векторной диаграммы, угол сдвига фаз  $\varphi$  между общим током в цепи  $I$  и напряжением на ПИП  $U_2$  выражается в виде  $\varphi = \varphi_x + \varphi_1$ .

В соответствии с методом трех вольтметров

$$\varphi_x = \arccos \frac{U_2 - U_1^2 - U_2^2}{2U_1 \cdot U_2}. \quad (2)$$

Угол разности фаз между током  $I$  и напряжением  $U_1$  (рис. 3).

$$\varphi_1 = \arctg \frac{I_c}{I_R + I_y} = \arctg(R_3 \omega C_{BH}), \quad (3)$$

где  $R_3 = R_y \cdot R_0 / R_y + R_0$  – эквивалентное сопротивление;  $R_0 = 1000$  Ом – образцовое сопротивление;  $R_y$  сопротивление утечки прибора В7-40/5.

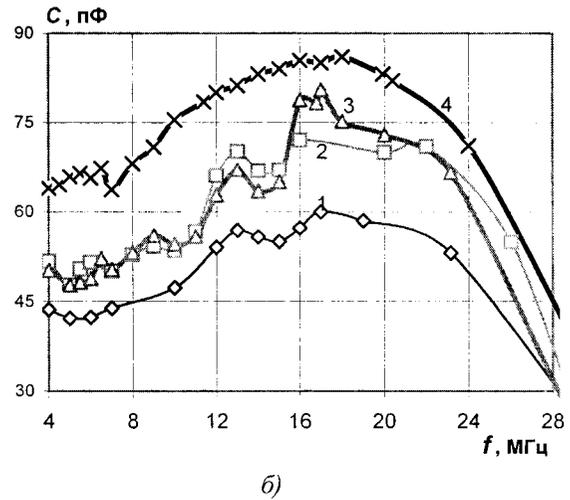
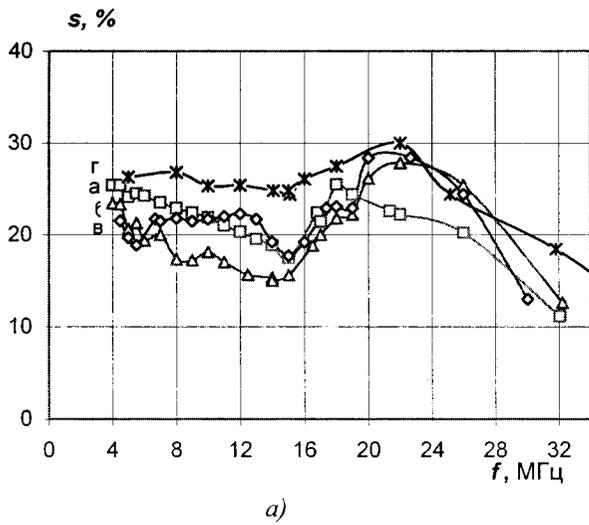


Рис. 4. Зависимость чувствительности (S) измерительных схем: а)- зависимость чувствительности от частоты генератора; б)- зависимость изменения емкости ПИП от частоты генератора

Учитывая, что  $C_{м1} = 300$  пФ и  $R_y = 53100$  Ом, измеренные с помощью моста переменного тока Е7-11, получим

$$\varphi_1 \approx \arctg(f), \quad (4)$$

где  $f$  – рабочая частота генератора Г4-106, МГц.

Таким образом, для скорректированной схемы коэффициент мощности необходимо определить как  $\cos(\varphi_x + \varphi_1)$  и учесть в дальнейших расчетах:

$$R = \frac{U_2}{U_1} R_o \cdot \cos(\varphi_x + \varphi_1);$$

$$X = \frac{U_2}{U_1} R_o \cdot \sin(\varphi_x + \varphi_1). \quad (5)$$

Для уменьшения влияния проводимости материала на результат измерения емкости ПИП поверхность электродов покрывали слоем изоляционного лака.

Зависимости чувствительности измерительных схем с различными ПИП от частоты для льнотресты с влажностью  $W = 20\%$  представлены на рис. 4.а. При проведении исследований измерения производились в пятикратной повторности. В рассмотренном диапазоне частот все зависимости чувствительности имеют зону максимума в пределах 16 - 28 МГц. Следует отметить, что на показания заметное влияние оказывает положение ПИП в льнотресте, т.е. ориентация ПИП, а значит и электродной системы, относительно стеблей льна. Исследования показали, что наилучшая сходимость показаний наблюдалась у ПИП с зубчатыми электродами (рис. 1.в и г). Существенное влияние на показания влагомера оказывает степень уплотнения волокнистых материалов. На рис. 4.б показана зависимость изменения емкости ПИП от частоты для образцов различной влажности и плотности.

Как видно, зависимость для уплотненной льнотресты влажностью 14% (кривая 2) практически совпадает с зависи-

мостью для льнотресты влажностью 20% без уплотнения (кривая 3). При уплотнении образца льнотресты влажностью 20% емкость значительно возросла (кривая 4). Изменение емкости измерительного преобразователя, заполненного материалом (кривые 2,3 и 4), по сравнению с незаполненным ПИП (кривая 1) служит основой для создания высокочастотного влагомера.

В результате экспериментов установлено, что плотность упаковки сырья льна ниже  $80 \text{ кг/м}^3$  приводит к значительным погрешностям измерения. Вместе с тем, при плотности материала выше  $100 \text{ кг/м}^3$  наблюдается значительно меньшая зависимость изменения погрешности измерений от вариации плотности льнотресты. Нивелирование влияния данного фактора может быть осуществлено как схемными решениями, так и методикой проведения измерений.

Расчет емкости предложенных ПИП может быть проведен на основе уравнений, полученных методом конформных преобразований [2]. При этом система проводников заменяется плоскопараллельной системой бесконечно тонких пластин. Емкость первичного измерительного преобразователя с плоскопараллельной электродной системой определяется по формуле [3]

$$C = 8,85 C_l k_3, \quad (6)$$

где  $C_l$  - емкость на единицу длины, пФ;  $l$  - длина преобразователя, м;  $k_3$  - коэффициент экранирования, учитывающий взаимное влияние электрических полей двухстороннего ПИП. Емкость на единицу длины электродных систем рассеянного поля определяется по формуле

$$C_l = 4\varepsilon_1 \frac{K'(k)}{K(k)} + 2(\varepsilon_2 - \varepsilon_1) \frac{K'_1(k_1)}{K_1(k_1)}, \quad (7)$$

где  $K(k)$  - полный эллиптический интеграл первого рода,  $k$  - модуль эллиптического интеграла,  $k'$  - дополнительный модуль эллиптического интеграла. Величина  $k$  определяется геометрическими размерами расчетного сечения и выражения

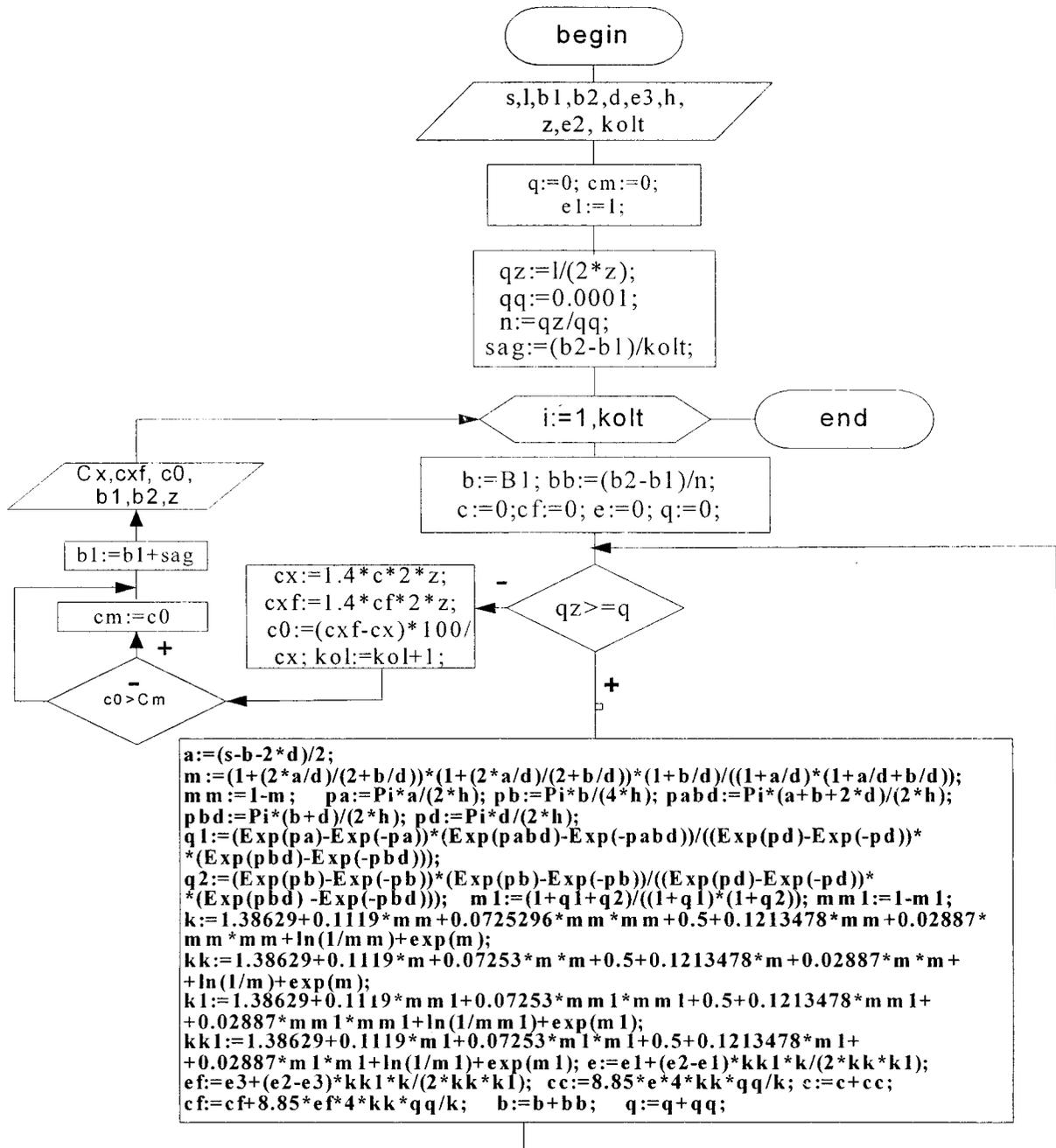


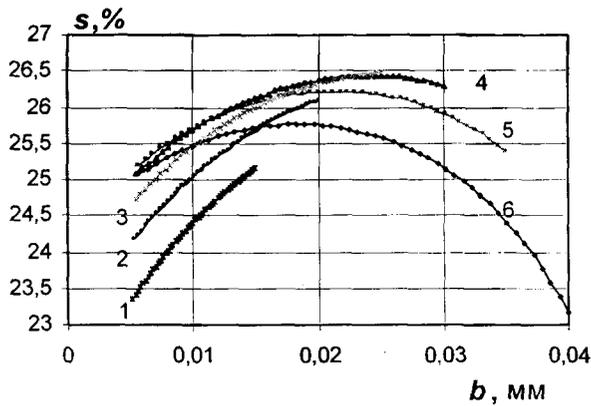
Рис. 5. Блок-схема программы расчета параметров щупового ПИП

для определения  $k, K, K'$  приводятся в справочных таблицах, а дополнительный модуль эллиптического интеграла  $k'$  определяется из соотношения  $k' = \sqrt{1 - k^2}$ . При расчетах удобно использовать аппроксимацию  $K$  и  $K'$  многочленами, в которых используется параметр  $m$  и дополнительный параметр  $m'$ , причем  $m + m' = 1$ . Эти параметры могут быть определены через модули эллиптических интегралов:  $m = k^2; m' = (k')^2$ .

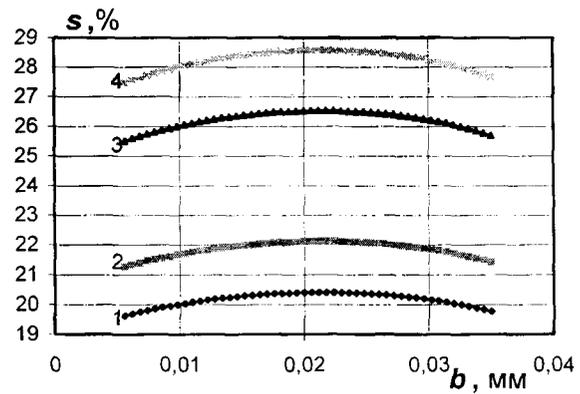
Для  $0 \leq m \leq 1$  аппроксимирующие многочлены

имеют следующий вид:

$$\left. \begin{aligned}
 K &= K(m) = [a_0 + a_1 m' + a_2 (m')^2] + \\
 &+ [b_0 + b_1 m' + b_2 (m')^2] + \ln(1/m') + \varepsilon(m); \\
 K' &= K(m') = [a_0 + a_1 m + a_2 m^2] + \\
 &+ [b_0 + b_1 m + b_2 m^2] + \ln(1/m) + \varepsilon(m); \\
 |\varepsilon(m)| &= 3,105; a_0 = 1,3862944; \\
 a_1 &= 0,1119723; a_2 = 0,0725296; \\
 b_0 &= 0,5; b_1 = 0,1213478; b_2 = 0,0288729.
 \end{aligned} \right\} (8)$$



а)



б)

Рис. 6. Зависимость чувствительности ПИП от  $b_{\min}$  при различных значениях  $b_{\max}$  (а) : 1- 15мм; 2- 20мм; 3- 25мм; 4- 30мм; 4- 35мм; 5- 40мм и при различной влажности (б): 1- 10%; 2- 15%; 3- 20%; 4- 25%

$$m = \left(1 + \frac{2a/d}{2 + b/d}\right)^2 \frac{1 + b/d}{(1 + a/d)(1 + a/d + b/d)}; \quad (9)$$

$$m' = (1 + q_1 + q_2) / [(1 + q_1)(1 + q_2)]. \quad (10)$$

При вычислении параметра  $m'$  необходимо определить вспомогательные коэффициенты  $q_1, q_2$  по следующим выражениям [2]:

$$q_1 = \frac{\text{sh}(\pi a / 2h) \text{sh}[\pi(a + b + 2d) / 2h]}{\text{sh}(\pi d / 2h) \text{sh}[\pi(b + d) / 2h]};$$

$$q_2 = \frac{\text{sh}^2(\pi b / 4h)}{\text{sh}(\pi d / 2h) \text{sh}[\pi(b + d) / 2h]}. \quad (11)$$

Расчет емкости ПИП с зубчатыми электродами (рис. 1.г) ведется по тем же выражениям (6...11), только с разбивкой поверхности электродов на  $n$  бесконечно малых отрезков и суммированием их емкости.

На основании выражений (6...11) была разработана программа по расчету емкости и чувствительности ПИП, блок-схема которой представлена на рис. 5. Данная программа реализована в визуальной среде *Delphi* на языке *Object Pascal* и позволяет определить оптимальные параметры ПИП, выводит и сохраняет результаты расчетов в виде таблиц и графиков. Расчеты проводились для различных значений геометрических размеров ПИП с учетом результатов исследований электрофизических характеристик льносырья [4]. Для льнотресты влажностью от 10 до 25% самая высокая чувствительность наблюдается при  $b_{\min} = 23... 25$ мм.

Результаты расчетов с допустимой погрешностью подтверждаются экспериментально. На рис. 6 представлены графики изменения чувствительности ПИП шириной 50мм и длиной 0,5м при влажности льнотресты 20% в зависимости от  $b_{\min}$  при изменении  $b_{\max}$  от 15 до 40мм. Из графика (рис. 6.а) видно, что оптимальное значение

$b_{\min} = 24$ мм,  $b_{\max} = 30$ мм.

Так же были получены зависимости емкости и чувствительности ПИП при различных значениях количества зубцов  $z$ , толщины ПИП  $h$ , и межэлектродного расстояния  $d$ . Результаты исследований показали, что увеличение количества зубцов немного повышает начальную емкость ПИП, однако чувствительность практически не меняется. Поэтому для ПИП данной длины можно принять количество зубцов  $z = 10... 20$ . Увеличение толщины ПИП и межэлектродного расстояния приводит к увеличению емкости ПИП, но разность емкостей заполненного и пустого ПИП снижается. Поэтому можно рекомендовать значения  $d = 3... 4$  мм,  $h$  - не более 4 мм.

Таким образом, определена конструктивная схема ПИП рассеянного поля с зубчатой электродной системой, обеспечивающая необходимую емкость и чувствительность измерительной схемы, предложены методика и программа расчета, определены параметры ПИП ножевого типа для измерителя влажности льносырья и других волокнистых материалов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Секанов Ю.П. Влагометрия сыпучих и волокнистых растительных материалов. – М.: ВИМ, 2001. – 189 с.
2. Кричевский Е.С., Волченко А.Г., Галушкин С.С. Контроль влажности твердых и сыпучих материалов. Под ред. Кричевского Е.С. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 136 с.
3. Иоссель Ю.Я, Кочанов Э.С. Расчет электрической емкости. – Л.: Энергия, 1969. – 240 с.
4. Корко В.С., Скочек И.И. Исследование электрофизических характеристик льносырья при разработке влагометрических систем. Материалы международной научно-технической конференции «Автоматический контроль и автоматизация производственных процессов». – Мн.: БГТИ, 2003. – С.20 – 21.