

УДК 630*383.2

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ РАЗВОРОТНОЙ ПЕТЛИ

П.С. Рыбников, В.В. Васильев, Д.Н. Афоничев (ВГЛТА)

Для разворота подвижного состава в конце тупиковых дорог, в пунктах погрузки и выгрузки грузов устраивают разворотные петли или разворотные площадки. На лесовозных усах для разворота лесовозных автомобильных поездов рекомендуется устраивать разворотные петли [1, 2, 3]. Длина разворотной петли, определяющая ее стоимость, зависит не только от величин радиусов кривой съезда R и петли r [1, 2, 3], но и длины прямой вставки l_C , расположенной между этими кривыми (рисунок 1б). Длина прямой вставки l_C может быть обоснована исходя из следующих условий: в пределах прямой вставки автопоезд должен размещаться целиком (рисунок 1а), величина прямой вставки связана с параметрами кривых и углом съезда θ (рисунок 1б). Второе условие позволяет в зависимости от радиусов R и r при известной длине прямой вставки определить угол θ , а используя первое условие, найдем l_C по схеме, показанной на рисунке 1а

$$l_C = \sum_{i=1}^{n-1} l_i + 2a_0, \quad (1)$$

где l_i – расстояние между i -й и $(i+1)$ -й осями автопоезда, м; n – количество осей у автопоезда; a_0 – расстояние от крайней оси автопоезда до начала кривой, м.

В формуле (1) $\sum_{i=1}^{n-1} l_i = l_B$ – база автопоезда – расстояние между первой и последней осями. Для автопоезда принятого состава данный параметр является величиной постоянной.

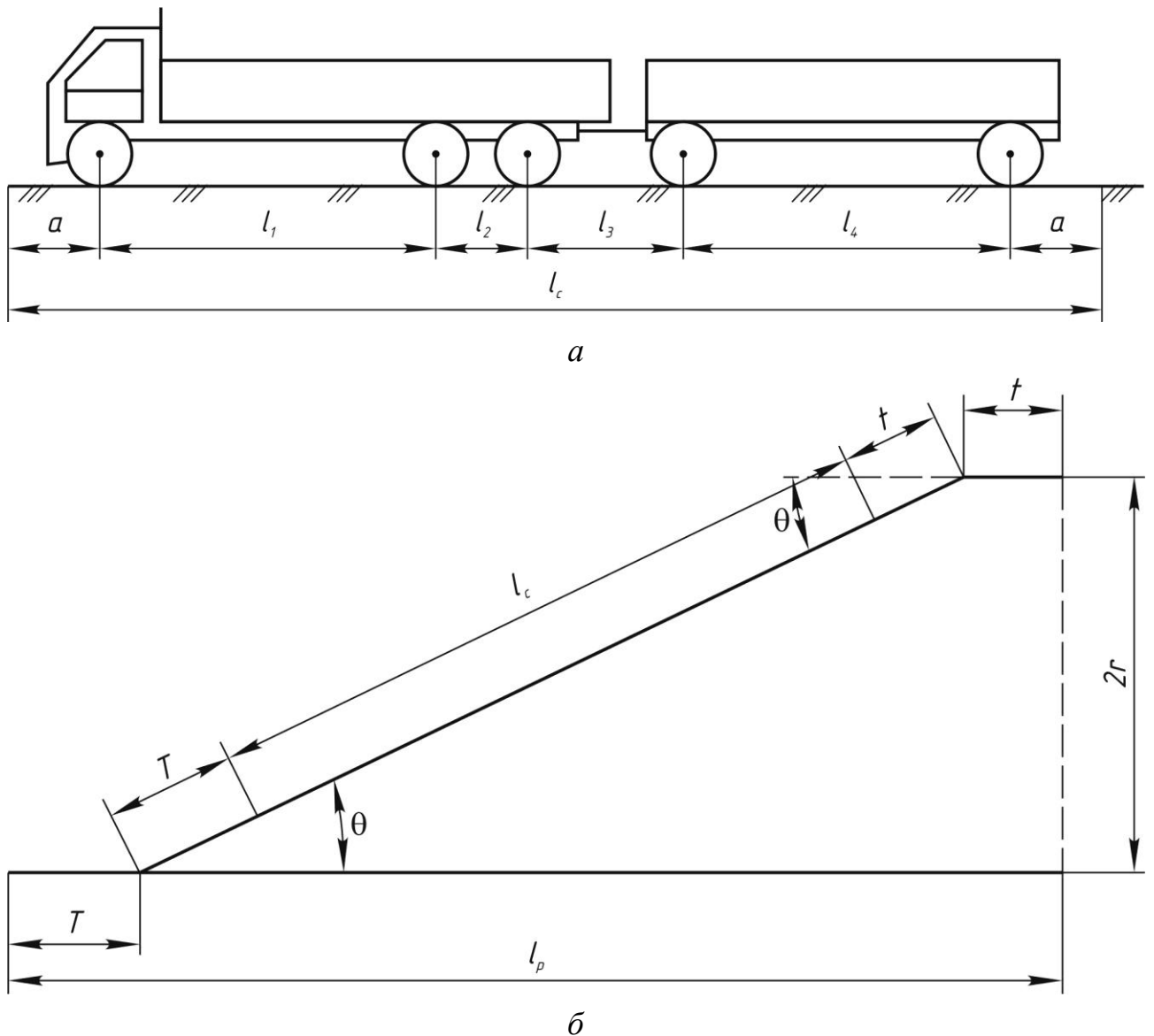
Согласно формуле (1) требуемые значения длины прямой вставки l_C составляют (при $a_0 = 2$ м), м: для автомобиля МАЗ-543403-220 – 7,75; для автопоезда КАМАЗ-54115+ТМЗ-9307-010 – 13,24; для автопоезда КАМАЗ-53215+ТМЗ-89662-010 – 19,12.

Из схемы, показанной на рисунке 1б, следуют зависимости:

$$(l_c + T + t) \sin \theta = 2r; \quad (2)$$

$$l_p = (l_c + T + t) \cos \theta + T + t, \quad (3)$$

где T и t – соответственно тангенсы кривых с радиусами R и r , м; l_p – длина разворотной петли в пределах лесовозного уса, м.



a – из условия возможности размещения автопоезда;

b – в зависимости от радиусов кривых и угла θ

Рисунок 1 – Схемы к обоснованию длины прямой вставки l_c

Из формулы (2) можно найти угол θ

$$\theta = \text{Arcsin} \frac{2r}{l_C + T + t}. \quad (4)$$

Величина тангенса зависит от радиуса кривой и величины угла поворота, а также длины переходной кривой, определяемой из условия ограничения нарастания центробежного ускорения при входе транспортного средства на кривую и сходе с нее [4]. В результате зависимость (4) усложняется, а угол θ присутствует в знаменателе правой части формулы (4). Таким образом, формула (4) – тригонометрическое уравнение, аналитическое решение которого затруднено, поэтому из зависимости (2) следует выразить l_C

$$l_C = \frac{2r}{\sin \theta} - T - t. \quad (5)$$

Используя полученную формулу (5) задаваясь значением угла θ от некоторого начального значения близкого к 90° можно рассчитать величину прямой вставки l_C и сравнить ее со значением, полученным расчетом по формуле (1), уменьшая задаваемую величину угла θ можно установить его значение, при котором значение l_C , определенное по формуле (4) будет равно или немного больше значения, рассчитанного по зависимости (1).

Допустимая длина переходной кривой $L_{ПК}$ равна

$$L_{ПК} = \frac{v^3}{jr}, \quad (6)$$

где j – максимально допустимая величина нарастания центробежного ускорения, м/с^3 .

Так как радиус кривой и допустимая скорость движения по кривой связаны друг с другом [1, 4], то можно выразить радиус как функцию скорости

$$r = \frac{v^2}{g(\mu + i_{II})}. \quad (7)$$

Подставим формулу (7) в выражение (6) и выполним преобразование

$$L_{ПК} = \frac{vg(\mu + i_{\Pi})}{j}. \quad (8)$$

Согласно полученной формуле (8) длина переходной кривой зависит от скорости движения по линейному закону. При $j = 1,1 \text{ м/с}^3$, $\mu = 0,15$ и $i_{\Pi} = 0$ устанавливаем: для скорости 20 км/ч (5,56 м/с) $L_{ПК} = 8,18 \text{ м}$, для скорости 15 км/ч (4,17 м/с) $L_{ПК} = 6,14 \text{ м}$, для скорости 12 км/ч (3,33 м/с) $L_{ПК} = 4,9 \text{ м}$. Полученные значения длин переходной кривой для различных скоростей движения обуславливают устройство переходных кривых на разворотной петле, что необходимо учесть при обосновании параметров разворотной петли. В этом случае в формулах (2), (4) и (5) необходимо радиус r увеличить на величину сдвижки, а l_p в формуле (3) – сократить на величину дополнительного тангенса.

Длина разворотной петли $L_{P\Pi}$ складывается из длин ее элементов

$$L_{P\Pi} = 2L_{ПКК} + K_K + l_C + 2L_{ПК\Pi} + K_{\Pi} + l_P, \quad (9)$$

где $L_{ПКК}$ – длина переходной кривой для кривой с радиусом R , м; K_K – длина основной кривой с радиусом R , м; $L_{ПК\Pi}$ – длина переходной кривой для петли с радиусом r , м; K_{Π} – длина основной кривой с радиусом r , м.

Длины основных кривых K_K и K_{Π} определяются в зависимости от радиусов кривых, длин переходных кривых и углов поворота по общеизвестным формулам [4, 5, 6, 7].

Площадь покрытия разворотной петли $A_{P\Pi}$ зависит от длин ее элементов и ширины проезжей части на этих элементах. Если обозначить ширину проезжей части уса b_0 , то площадь покрытия составляет

$$A_{P\Pi} = 2L_{ПКК}(b_0 + 0,5\Delta_K) + K_K(b_0 + \Delta_K) + l_C b_0 + 2L_{ПК\Pi}(b_0 + 0,5\Delta_{\Pi}) + K_{\Pi}(b_0 + \Delta_{\Pi}) + l_P b_0 + l_{OK}\Delta_K + l_{O\Pi}\Delta_{\Pi}, \quad (10)$$

где Δ_K – уширение проезжей части на кривой с радиусом R , м; Δ_{Π} – уширение проезжей части на петле с радиусом r , м; l_{OK} – длина отгона уширения проезжей части для кривой с радиусом R , м; $l_{O\Pi}$ – длина отгона уширения проезжей

части для петли с радиусом r , м.

В формуле (10) параметры $L_{ПКК}$ и $l_{ОК}$, $L_{ПКП}$ и $l_{ОП}$ взаимозаменяют друг друга, а именно если не требуется устройство переходных кривых, то $L_{ПКК} = 0$ или $L_{ПКП} = 0$ и соответственно назначаются длины отгонов $l_{ОК}$ и $l_{ОП}$ в пределах прямых вставок. При существовании переходных кривых обязательно $l_{ОК} = 0$, $l_{ОП} = 0$. Следует также учесть, что отгоны уширения проезжей части устраивают в пределах прямых вставок, а значит, параметры $l_{ОК}$ и $l_{ОП}$ ограничиваются длиной прямой вставки l_C , длина прямой вставки l_P значительно больше l_C и достаточна для размещения отгона.

Очевидно, что площадь покрытия разворотной петли $A_{ПРП}$, определяемая формулой (10) должна стремиться к минимуму, так как от ее величины на прямую зависит стоимость строительства, содержания и ликвидации разворотной петли [1]. Функция, выражаемая зависимостью (10), имеет два аргумента – это радиусы: кривой съезда R и петли r , функциями которых являются параметры: $L_{ПКК}$, K_K , Δ_K , $L_{ПКП}$, K_P , Δ_P , l_C и l_P .

Величина прямой вставки съезда l_C связана с параметрами кривых и углом θ зависимостями (2) – (5), аналитическое решение которых затруднено, то следует устанавливать требуемые для данных условий длину прямой вставки съезда и угол съезда посредством моделирования на ЭВМ. При этом углом съезда θ можно задаваться от некоторого максимального значения и уменьшать его. Искомая величина угла съезда θ соответствует равенству правых частей зависимостей (1) и (5).

Для оптимизации параметров разворотной петли разработан алгоритм, блок-схема которого показана на рисунках 2-4. Данный алгоритм предусматривает ввод следующих значений: l_B – расстояние между первой и последней осями автопоезда – база автопоезда, м; a_0 – расстояние от крайней оси автопоезда до начала кривой, м; r_{\min} – минимальный радиус петли, м; θ_{\max} – наибольший угол поворота, град.; g – ускорение свободного падения, м/с²; μ – допустимый коэффициент поперечной силы; i_P – поперечный уклон поверхности проезжей части; v_P – расчетная скорость движения, м/с; L – расстояние от переднего бампера до задней оси автомобиля, м; b – длина дышла прицепа, м; a

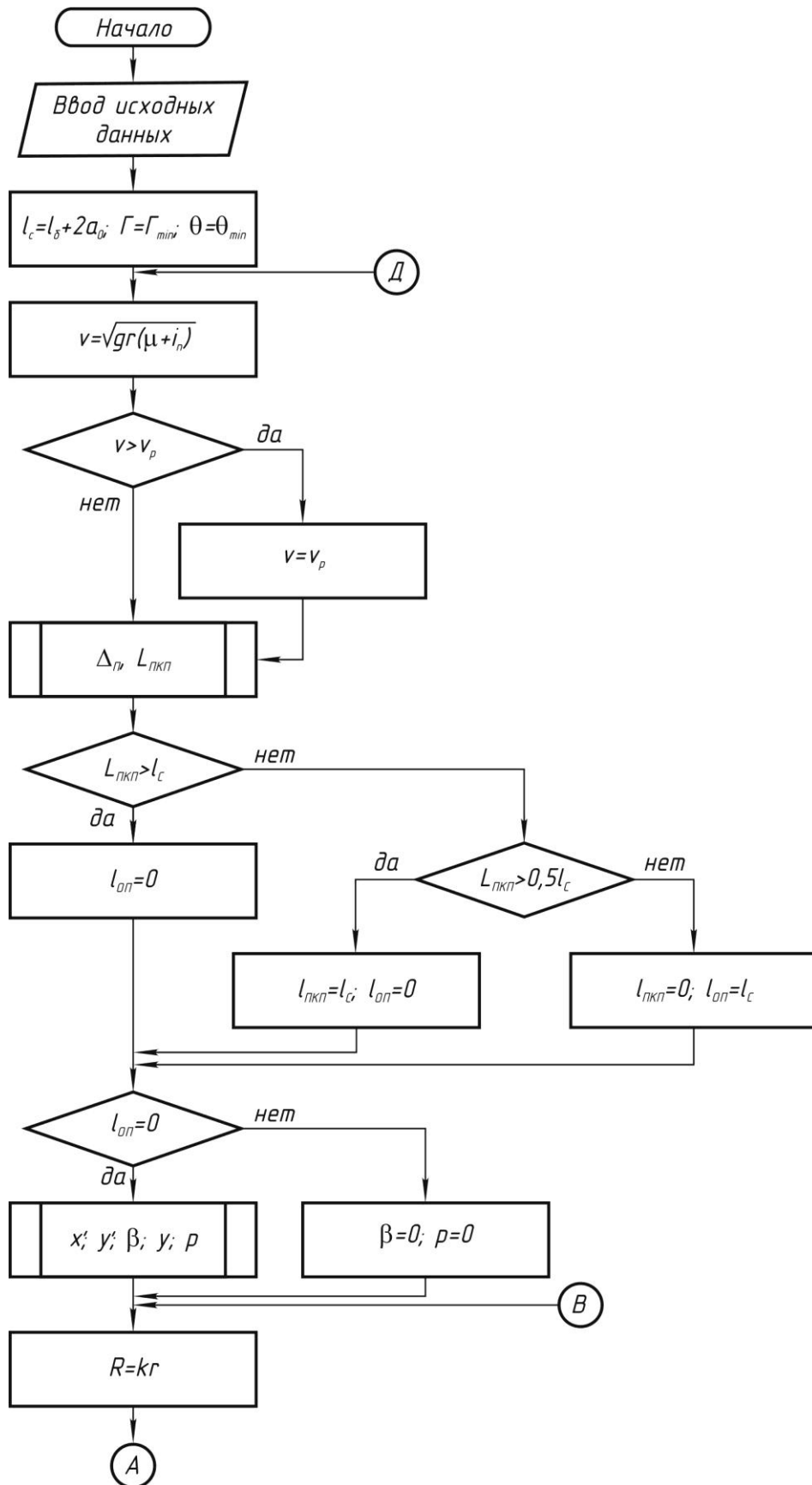


Рисунок 2 – Блок-схема алгоритма оптимизации параметров разворотной петли

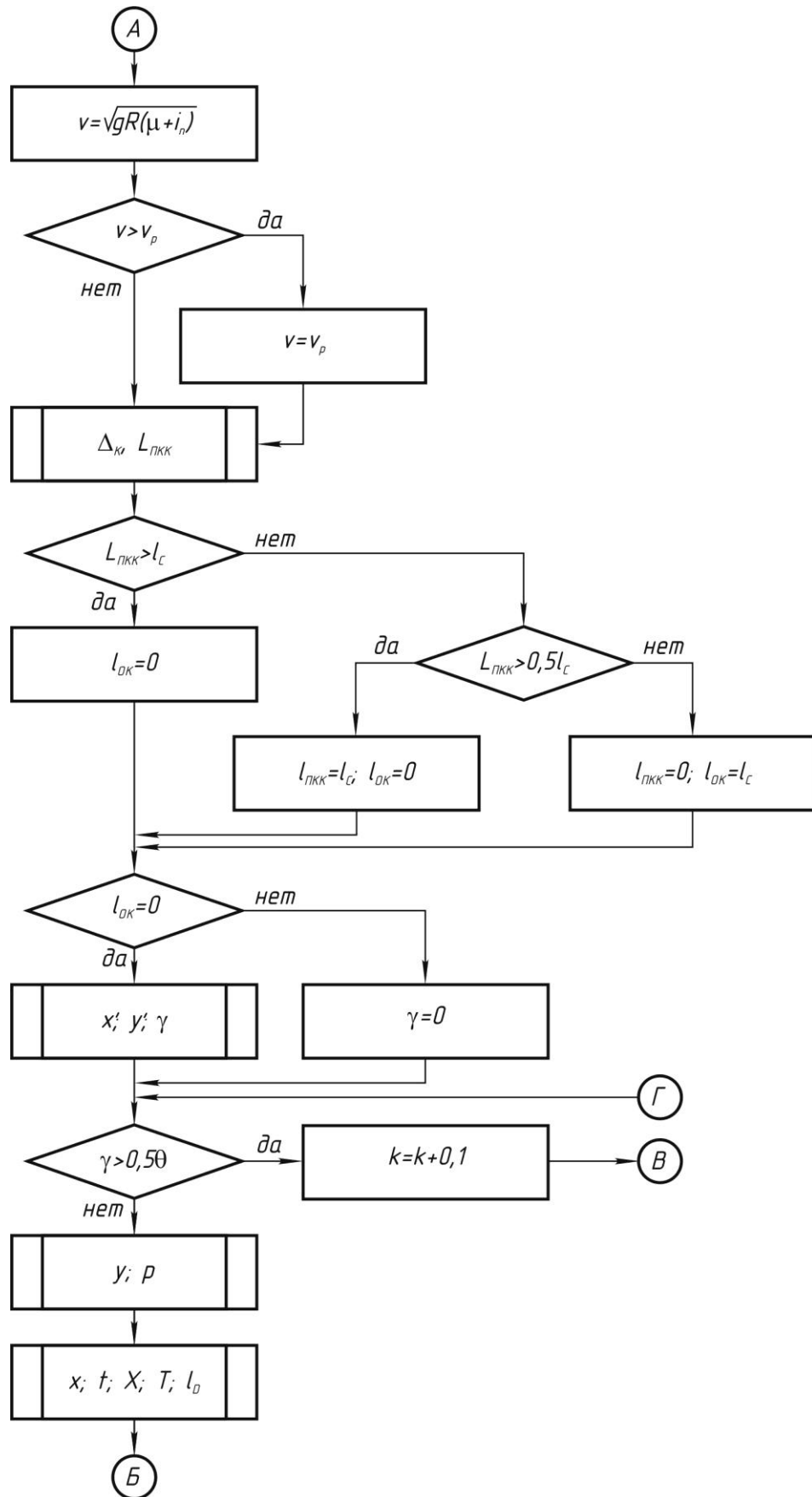


Рисунок 3 – Блок-схема алгоритма оптимизации параметров разворотной петли

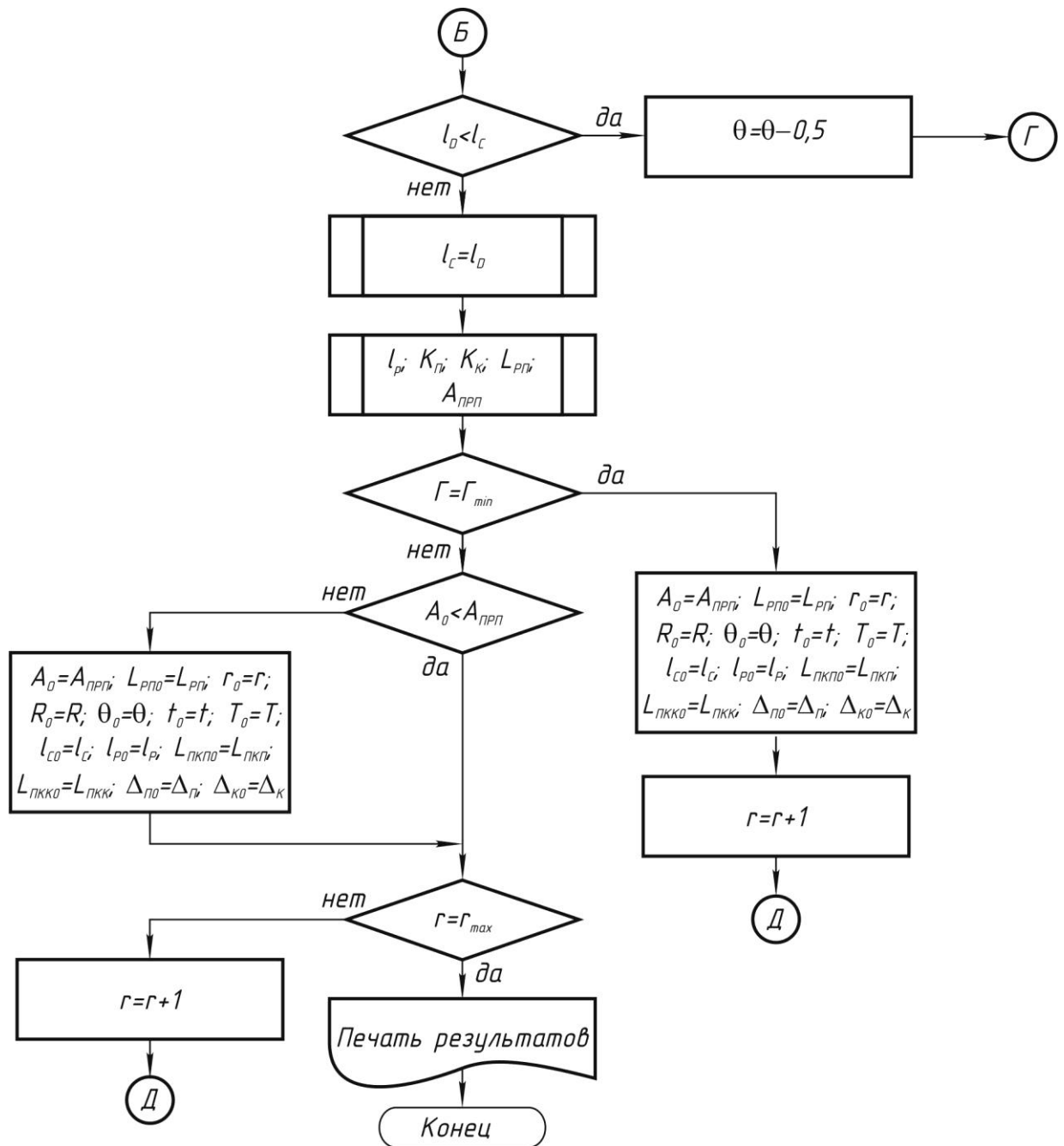


Рисунок 4 – Блок-схема алгоритма оптимизации параметров разворотной петли

– расстояние от крюка буксирного прибора до задней оси автомобиля, м; j – допустимое нарастание центростремительного ускорения, м/с³; k – отношение радиуса кривой к радиусу петли; b_0 – ширина проезжей части, м; r_{max} – максимальный радиус петли, м.

Процедура оптимизации (рис. 2) предусматривает определение всех параметров разворотной петли, и площади покрытия на ней при изменении радиуса петли r в допустимом интервале от r_{min} до r_{max} . Принимается значение

радиуса петли, при котором площадь покрытия минимальная, на печать выводятся параметры, определенные при оптимальном радиусе петли, в их обозначения присутствует дополнительный индекс 0. Радиус кривой съезда в начале процедуры задается равным радиусу петли, а в процессе оптимизации при необходимости увеличивается из условия размещения переходных кривых, целесообразность устройства которых устанавливается из условия обеспечения допустимого нарастания центробежного ускорения и размещения автопоезда на переходной кривой. Алгоритм выполняет вычисления по формулам (9) и (8), приведенным в работе [1], по зависимостям (6), (3), (9) и (10). Кроме этого используются зависимости для расчета параметров переходных и круговых кривых, представленные в работе [2].

Для реализации представленного алгоритма (рис. 2) разработана программа для ЭВМ [8].

Результаты оптимизации параметров разворотной петли: r_0 – радиус петли, м; R_0 – радиус кривой съезда, м; θ_0 – угол поворота съезда; t_0 – тангенс петли, м; T_0 – тангенс кривой съезда, м; l_{C0} – прямая вставка съезда, м; l_{P0} – протяженность уса в пределах петли, м; $L_{ПКП0}$ – длина переходной кривой для петли, м; $L_{ПКК0}$ – длина переходной кривой для кривой съезда, м; $\Delta_{П0}$ – уширение проезжей части на петле, м; $\Delta_{К0}$ – уширение проезжей части на кривой съезда, м; $L_{РП0}$ – полная длина разворотной петли, м; A_0 – площадь покрытия разворотной петли, м².

В таблице 1 представлены оптимальные параметры разворотных петель для трех типов лесовозных автопоездов, определенные при коэффициенте поперечной силы 0,15, расчетной скорости движения 5,56 м/с, допустимой величине нарастания центробежного ускорения 1,1 м/с³ [9].

В таблице 2 приведены для сравнения оптимальные параметры разворотных петель для трех типов лесовозных автопоездов, определенные при коэффициенте поперечной силы 0,2, расчетной скорости движения 5,56 м/с, допустимой величине нарастания центробежного ускорения 0,8 м/с³. При этих параметрах увеличивается допустимая скорость движения по кривым и длина переходной кривой, что позволит оценить влияние более высоких скоростей движения на оптимальные параметры разворотных петель и обосновать целесообразность ограничения скорости на петле [1].

Таблица 1 – Оптимальные параметры разворотных петель для различных типов лесовозных автопоездов ($\mu = 0,15$; $j = 1,1 \text{ м/с}^3$)

Параметры разворотной петли	МАЗ-543403-220+ +МАЗ-900800	КАМАЗ-54115+ +ТМЗ-9307-010	КАМАЗ-53215+ +ТМЗ-89662-010
Радиус петли, м	12	14,5	12
Радиус кривой съезда, м	12	14,5	12
Угол поворота съезда	57^0	65^0	51^0
Тангенс петли, м;	10,49	9,24	5,72
Тангенс кривой съезда, м	10,49	9,24	5,72
Прямая вставка съезда, м	8,14	13,52	19,43
Протяженность уса в пределах петли, м	32,96	32,0	30,88
Длина переходной кривой для петли, м	7,75	0	0
Длина переходной кривой для кривой съезда, м	7,75	0	0
Уширение проезжей части на петле, м	1,27	2,54	2,16
Уширение проезжей части на кривой съезда, м	1,27	2,54	2,16
Полная длина разворотной петли, м	118,16	23,97	109,37
Площадь покрытия разворотной петли, м^2	491,9	700,57	592,75

Таблица 2 – Оптимальные параметры разворотных петель для различных типов лесовозных автопоездов ($\mu = 0,2$; $j = 0,8 \text{ м/с}^3$)

Параметры разворотной петли	МАЗ-543403-220+ +МАЗ-900800	КАМАЗ-54115+ +ТМЗ-9307-010	КАМАЗ-53215+ +ТМЗ-89662-010
Радиус петли, м	12	14,5	12
Радиус кривой съезда, м	15,6	17,4	22,8
Угол поворота съезда	50^0	47^0	28^0
Тангенс петли, м;	11,71	13,08	12,572
Тангенс кривой съезда, м	12,53	14,24	23,59
Прямая вставка съезда, м	8,35	13,68	19,91
Протяженность уса в пределах петли, м	39,23	48,68	76,02
Длина переходной кривой для петли, м	11,9	13,24	19,12
Длина переходной кривой для кривой съезда, м	11,9	13,24	19,12
Уширение проезжей части на петле, м	1,31	2,58	2,19
Уширение проезжей части на кривой съезда, м	1,07	2,15	1,21
Полная длина разворотной петли, м	134,79	160,52	169,51
Площадь покрытия разворотной петли, м^2	549,13	740,39	724,95

Данные таблиц 1 и 2 показывают, что во всех случаях оптимальным является минимально допустимый радиус петли, это объясняется тем, что протяженность разворотной петли возрастает прямо пропорционально радиусу петли, а уширение проезжей части с возрастанием радиуса убывает только в пределах отгонов, переходных кривых и основных кривых, протяженность которых меньше протяженности разворотной петли в целом. Увеличение допустимой скорости движения по петле (таблица 2) приводит к возрастанию протяженности последней на 15 ... 48 % и площади покрытия на 6 ... 18 %, а следовательно ограничение скорости движения по петле целесообразно.

Выводы

1 Разработанный алгоритм оптимизации параметров разворотной петли и программа для ЭВМ, реализующая данную процедуру, позволяют в автоматизированном режиме установить параметры разворотной петли, обеспечивающие требуемые условия безопасного движения автопоездов и минимальные затраты на строительство, содержание и ликвидацию разворотной петли.

2 Результаты оптимизации параметров разворотной петли показывают, что во всех случаях оптимальным является минимально допустимый радиус петли, это объясняется тем, что протяженность разворотной петли возрастает прямо пропорционально радиусу петли, а уширение проезжей части с возрастанием радиуса убывает только в пределах отгонов, переходных кривых и основных кривых, протяженность которых меньше протяженности разворотной петли в целом. Увеличение допустимой скорости движения по петле приводит к возрастанию протяженности последней на 15... 48 % и площади покрытия на 6 ... 18 %, а следовательно ограничение скорости движения по петле является целесообразным.

Библиографический список

1 Афоничев, Д. Н. Размещение разворотных петель на лесовозном усе / Д. Н. Афоничев, П. С. Рыбников // ИВУЗ Лесной журнал. 2012. № 6. С. 72-79.

2 Афоничев, Д. Н. Размещение петлевых разворотов на лесовозных усах / Д. Н. Афоничев // Вестник МГУЛа – Лесной вестник. 2010. № 6. С. 93-96.

3 Рыбников, П. С. Размещение временных автомобильных дорог в лесосеках / П. С. Рыбников // Лесотехнический журнал : ВГЛТА. 2011. № 3. С. 88-98.

4 Курьянов В. К. Автомобильные дороги / В. К. Курьянов, Д. Н. Афоничев, А. В. Скрыпников // Воронеж: ВГЛТА, 2007. – 284 с.

5 Транспорт леса. В 2-х т. Т. 1. Сухопутный транспорт / Под ред. Э.О. Салминена. М. : ИЦ Академия, 2009. – 368 с.

6 Заложных, В. М. Изыскания лесных дорог / В. М. Заложных // Воронеж : ВГЛТА, 2005. – 148 с.

7 Федотов, Г. А. Изыскания и проектирование автомобильных дорог / Г. А. Федотов, П. И. Поспелов // В 2-х кн. Кн. 1. М. : Высш. шк. 2009. – 646 с.

8 Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2012618012. Программа оптимизации параметров разворотной петли / П. С. Рыбников, В. В. Васильев, Д. Н. Афоничев ; заявитель и правообладатель ФГБОУ ВПО ВГЛТА. Заявл. 18.07.2012, зарег. 06.09.2012.

9 Леонович, И. И. Автомобильные лесовозные дороги / И. И. Леонович // Минск : Высш. шк. 1965. – 396 с.